

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Tamara Preininger

# **MORFOLOŠKE ZNAČAJKE USKOŠKAROG RAKA**

**(*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823)**

**U SJEVEROZAPADNOJ HRVATSKOJ**

Diplomski rad

Zagreb, 2017.

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za astakologiju na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno - matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Ivane Maguire. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistre ekologije i zaštite prirode.

## ZAHVALA

Prvenstveno, veliku zahvalnost dugujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Ivani Maguire na ukazanom povjerenju te na izrazitoj susretljivosti i pomoći prilikom izrade i pisanja ovog diplomskog rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji na podršci i strpljenju tijekom cijelog studija.

Velika hvala Zoranu i njegovoj obitelji na pomoći tijekom studiranja.

Hvala svim prijateljima i kolegama bez kojih fakultet ne bi prošao tako lako i zabavno.

Nemam dovoljno riječi kojima bih se zahvalila dečku Igoru na svakodnevnoj pomoći, potpori, ljubavi i velikom prijateljstvu.

I na kraju, željela bih se zahvaliti Jasminki i Kristini na podršci i pomoći kada mi je to bilo najpotrebnije.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

### **Morfološke značajke uskoškarog raka (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823) u sjeverozapadnoj Hrvatskoj**

Tamara Preininger

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Astacus leptodactylus* jedna je od četiri native vrste porodice Astacidae u Hrvatskoj, ujedno je i ključna vrsta u slatkovodnim ekosustavima. Unatoč važnosti vrste *A. leptodactylus*, općenito nedostaju podaci o toj vrsti na europskom nivou. Glavni cilj ovog diplomskog rada bio je istražiti morfometrijske značajke ove vrste te analizama istih utvrditi razlike između populacija ove vrste skupljenih na slijedeća 4 lokaliteta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj: Mrežnici, Trećem maksimirskom jezeru, 1. i 2. dijelu jezera Rakitje. Nadalje, cilj je bio usporediti rezultat morfometrijskih analiza s prethodno dobivenim rezultatima molekularnih analiza. Utvrđeno je da postoje statistički značajne razlike u većini mjerenih morfometrijskih karakteristika među istraživanim populacijama mužjaka i ženki. Time su potvrđena molekularno - filogenetska istraživanja o postojanju intraspecijske divergencije među različitim populacijama ove vrste rakova. Rezultati diskriminativne analize pokazali su da razlike u morfometrijskim karakteristikama između populacija reflektiraju geografsku udaljenost. Zabilježene razlike u morfometrijskim značajkama među populacijama uskoškarih rakova najvjerojatnije su posljedica kombinacije genetičkih i okolišnih mehanizama. Ovim radom potvrđeno je da su morfometrijske analize kombinirane sa statističkim metodama korisne u razlikovanju i razdvajanju populacija rakova. Dobiveni rezultati poslužit će u svim daljnjim istraživanjima ove vrste, kako na području Hrvatske, tako i na području Europe.

( 38 stranica, 10 slika, 10 tablica, 41 literaturni navod, 13 priloga, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: *Astacus leptodactylus*, Astacidae, morfometrija, Mrežnica, Rakitje, Treće maksimirsko jezero

Voditelj: Dr. sc. Ivana Maguire, izv. prof.

Ocjenitelji:

Dr. sc. Ivana Maguire, izv. prof.

Dr. sc. Renata Šoštarić, doc.

Dr. sc. Ana Galov, izv. prof.

Rad prihvaćen: 8. lipnja 2017.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Division of Biology

Graduation Thesis

### **Morphology of the narrow-clawed crayfish (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823) in north-west Croatia**

Tamara Preininger

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Astacus leptodactylus* is one of the four native species from Astacidae family in Croatia, and it is a keystone species in freshwater ecosystems. Data on this species on the European level is generally missing. The main goal of this graduate thesis was to investigate the morphometric characteristics of this species and to analyse differences in morphometry among 4 populations from the following sites in the north-west Croatia: Mrežnica, Treće Maksimirsko Lake, 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> part of the Rakitje Lake. The goal was to compare the results of the morphometric analyses with the previously obtained molecular analyses results. It has been established that there are statistically significant differences among the examined populations of males and females in measured morphometric characteristics. These results confirmed the molecular - phylogenetic studies, this species shows intraspecific divergence among different populations. The results of discriminatory analysis have shown that differences in morphometric characteristics between populations reflect geographical distance. The observed differences in morphometric characteristics between populations of narrow-clawed crayfish are most likely the result of the combination of genetic and environmental mechanisms. This thesis has confirmed that morphometric analyses, combined with statistical methods, are useful in differentiating and separating crayfish populations. The obtained results will be useful in all further research of *A. leptodactylus*, both in Croatia and in Europe.

(38 pages, 10 figures, 10 tables, 41 references, 13 appendices, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: *Astacus leptodactylus*, Astacidae, morphometry, Mrežnica, Rakitje, Treće Maksimirsko Lake

Supervisor: Dr. Ivana Maguire, Assoc. Prof.

Reviewers:

Dr. Ivana Maguire, Assoc. Prof.

Dr. Renata Šoštarić, Asst. Prof.

Dr. Ana Galov, Assoc. Prof.

Thesis accepted: June 8th, 2017.

## SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b>	1
<b>1.1. Važnost morfometrije u biološkim istraživanjima</b>	1
<b>1.2. Rakovi (Crustacea)</b>	1
1.2.1. Porodica Astacidae i njezina rasprostranjenost u Europi i Hrvatskoj	2
<b>1.3. Vrsta <i>Astacus leptodactylus</i></b>	5
1.3.1. Sistematika	5
1.3.2. Morfološke značajke vrste <i>A. leptodactylus</i>	5
1.3.3. Biologija i životni ciklus	7
1.3.4. Stanište	8
1.3.5. Ugroženost	8
<b>2. CILJ ISTRAŽIVANJA</b>	9
<b>3. MATERIJALI I METODE</b>	10
<b>3.1. Područja uzorkovanja</b>	10
<b>3.2. Lov i uzorkovanje rakova</b>	11
<b>3.3. Određivanje vrste, spola i morfometrijskih značajki rakova</b>	12
<b>3.4. Statistička obrada podataka</b>	15
<b>4. REZULTATI</b>	16
<b>4.1. Deskriptivna statistika morfometrijskih značajki</b>	16
4.1.1. T- test	17
<b>4.2. Analiza varijance</b>	17
4.2.1. Post-hoc test	18
<b>4.3. Multipla diskriminativna analiza</b>	19
<b>4.4. Kanonička analiza</b>	20
<b>5. RASPRAVA</b>	24
<b>5.1. Općenite karakteristike populacija</b>	24
<b>5.2. Morfometrijske značajke</b>	26
<b>6. ZAKLJUČAK</b>	30

<b>7. LITERATURA.....</b>	<b>31</b>
<b>8. PRILOZI.....</b>	<b>36</b>
<b>9. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>38</b>

## 1. UVOD

### 1.1. Važnost morfometrije u biološkim istraživanjima

Morfometrija se odnosi na kvantitativnu analizu forme, to jest koncepta koji obuhvaća veličinu i oblik. Cilj morfometrijskih istraživanja je proučavanje oblika, kako on može varirati i u kakvom je odnosu s ostalim varijablama. Može se koristiti u bilo kojem području za proučavanje bilo kakvih oblika, no najčešće se upotrebljava upravo u biologiji za opisivanje svojstava organizama. U tom slučaju, govoreći o morfometriji u biološkom smislu, definiramo je kao znanstvenu disciplinu koja proučava tjelesne mjere određene životinjske vrste. Prema Sint i sur. (2005), morfometrijska mjerenja vrlo se često koriste za istraživanje razlika između vrsta i populacija rakova. Uključivanjem velikog broja mjerenih morfometrijskih značajki na velikom uzorku, morfometrijska analiza postala je široko korišten i pouzdan alat u usporedbama populacija i utvrđivanju značajnih razlika između njih (Maguire i Dakić, 2011; Sint i sur., 2005). Iako su molekularna istraživanja sve češća i uobičajena i dalje se treba oslanjati na morfometriju/morfologiju. Kako su tjelesne mjere karakteristične za određenu vrstu i populaciju (uz veće ili manje varijacije), istraživanja morfoloških/morfometrijskih značajki od iznimne su važnosti za praktičan rad na terenu. Prednosti primjene morfometrijskih metoda su da su tehnički jednostavne, jeftine i pouzdane te se koriste u mnogim istraživačkim i znanstvenim radovima. U ovom istraživanju korištene su analize morfometrijskih značajki različitim statističkim metodama, kako bi se odredile/utvrdile one značajke koje eventualno razdvajaju različite populacije rakova vrste *A. leptodactylus*.

### 1.2. Rakovi (Crustacea)

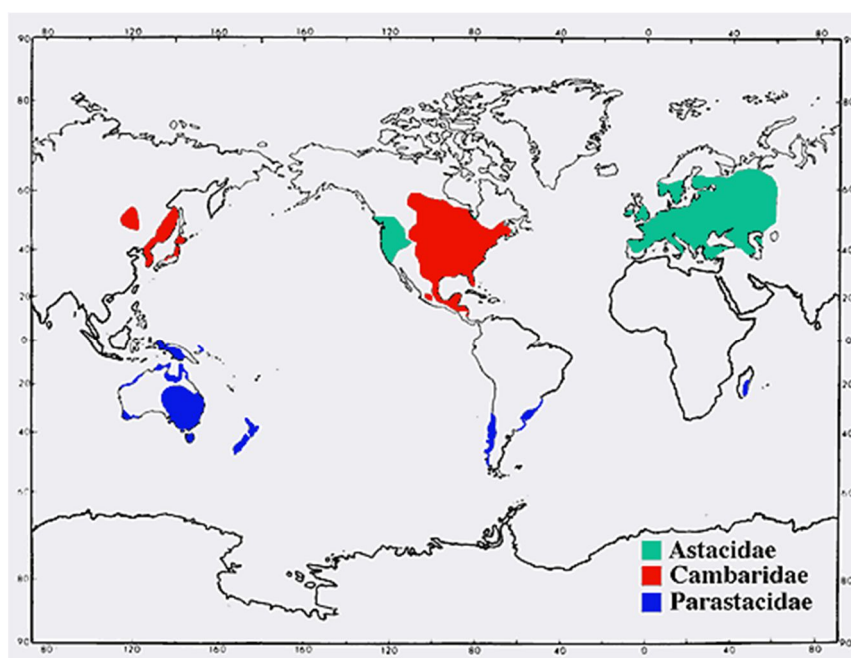
Rakovi (Crustacea) su, gledajući morfologiju i veličinu, jako raznolika skupina organizama. U Europi se proučavaju od davnina, Aristotel ih spominje još 300. g.p.n.e. Ljudi su odavno poznavali rakove i koristili ih kao hranu (Westmann 1991), a kasnije ih Linne naziva insektima neprikladnim za prehranu. Poznavanje rakova ostavilo je traga u mitovima, astrologiji, basnama, umjetnosti, a korišteni su i kao lijek protiv raka (Maguire, 2002). Trenutno je opisano oko 67 000 živućih vrsta rakova (Brusca i Brusca, 2003), a još će zasigurno velik broj vrsta tek biti otkriven. Rakovi su najčešće morske ili slatkovodne životinje, koje nastanjuju lotička, lentička i podzemna staništa, a ima i terestričkih oblika.



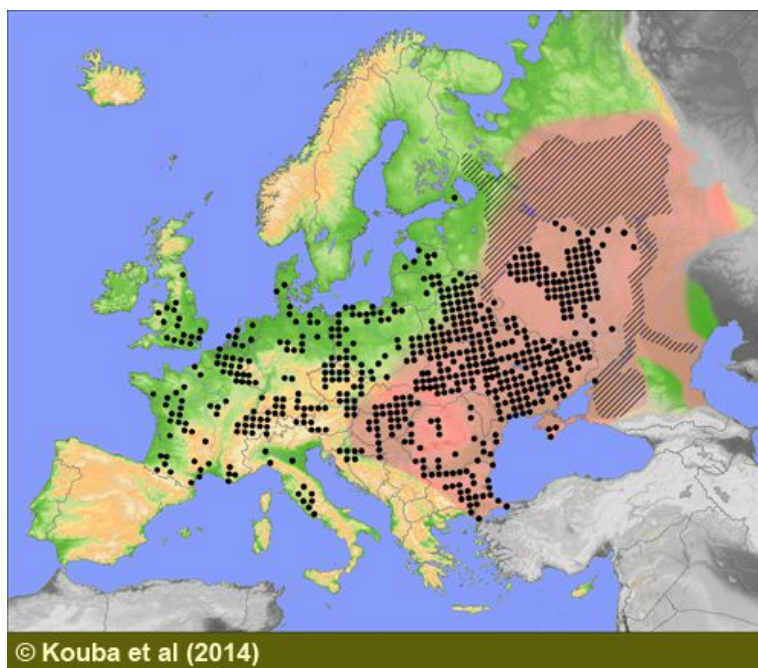
### 1.2.1. Porodica Astacidae i njezina rasprostranjenost u Europi i Hrvatskoj

U 19. stoljeću započinje se intenzivnije izlovljavati i uzgajati slatkovodne rakove zbog korištenja u ishrani, a 1879. godine, izdanjem knjige "The crayfish - An introduction to the study of zoology" T. H. Huxleya, započinje period znanstvenog istraživanja ove skupine životinja. Period intenzivnog znanstvenog istraživanja rakova traje i danas te je okrunjen osnivanjem međunarodnog udruženja astakologa, IAA (International Association of Astacology). Mnogim obavljenim radovima i knjigama znanje o rakovima stalno se nadograđuje. Slatkovodni rakovi su monofiletska grupa (Crandall i sur., 2000), a po sistematskoj podjeli pripadaju koljenu Arthropoda, podkoljenu Crustacea, razredu Malacostraca, koji sadrži oko 25 000 vrsta unutar podrazreda Eumalacostraca i nadreda Eucarida (Longshaw i Stebbing, 2016). Unutar reda Decapoda nalazi se podred Astacida unutar kojeg je opisano preko 640 vrsta (Crandall i Buhay, 2008). Podred obuhvaća dvije nadporodice, nadporodicu Astacoidea i nadporodicu Parastacoidea. Rasprostranjenost ove dvije nadporodice je prikazana na Slici 1. Nadporodica Astacoidea, koja je rasprostranjena na području Sjeverne hemisfere, obuhvaća dvije porodice: Cambaridae i Astacidae (Crandall i Buhay, 2008). Areal porodice Astacidae čine Azija, Europa i Sjeverna Amerika. Na području Europe, zapadno od Urala, prirodno obitava samo porodica Astacidae (Latreille, 1802) zastupljena s dva autohtona roda: *Astacus* (Fabricius, 1775) i *Austropotamobius* (Skorikov, 1907), dok je zabilježena i prisutnost trećeg roda *Pacifastacus* (Bott, 1950). Vrsta *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852) prirodno je rasprostranjena na prostoru Sjeverne Amerike, a u Europi je unesena i dokazano invazivna vrsta (Maguire, 2010). Pet autohtonih vrsta slatkovodnih rakova iz porodice Astacidae (Holdich, 2002) su *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758) - riječni ili plemeniti rak, *Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823 - uskoškari, turski ili barski rak, *Astacus pachypus* (Rathke, 1837), *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet, 1858) - bjelonogi ili primorski rak i *Austropotamobius torrentium* (Schrank, 1803) - potočni rak ili rak kamenjar. Plemeniti rak, *A. astacus*, ima široki areal rasprostranjenosti u Europi, od Francuske na jugozapadu, Rusije na istoku, Italije, Albanije i Grčke na jugu, do Skandinavije na sjeveru (Cukerzis 1988, Skurdal i Taugbol, 2002). Kako je njegov areal bio mnogo širi prije pojave račje kuge, bolesti koju uzrokuje patogen *Aphanomyces astaci*, Schikora, 1903, a zaslužna je za smanjenje broja populacija plemenitog raka u Europi (Holdich i sur. 2009), mnoge države imaju zakonom reguliranu njihovu zaštitu i hvatanje. Uskoškari rak, *A. leptodactylus*, koji je istraživao u ovom diplomskom radu, također je rasprostranjen širom Europe (Slika 2.), najviše u istočnoj Europi, iako je unesen i u druge zemlje te se širi prema zapadu (Kouba i sur., 2014). Vrsta *A. pachypus*

obitava oko Kaspijskog jezera te Crnog i Azovskog mora, a autohtona je u Rusiji, Ukrajini, Azerbajdžanu, Turkmenistanu i Kazahstanu (Machino i Holdich, 2006, Holdich i sur., 2009). Vrste roda *Autopotamobius* široko su rasprostranjene u Europi, vrsta *A. torrentium* rasprostranjena je na području srednje i jugoistočne Europe, dok vrsta *A. pallipes* naseljava zapadnu i južnu Europu, uključujući i Britansko otočje (Holdich i Lowery, 1988). Osim autohtonih rakova, Europu nastanjuju i strane invazivne vrste slatkovodnih deseteronožnih rakova. Među njima razlikujemo stare invazivne vrste koje su unesene u Europu prije 1980-ih godina te su na području Europe najraširenije. To su, *P. leniusculus* – signalni rak, vrsta koja pripada porodici Astacidae, te vrste *Oreconectes limosus* (Rafinesque, 1817) – bodljobrati rak i *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) koje pripadaju porodici Cambaridae. Strane vrste unesene nakon 1980-ih godina u Europu još se nazivaju nove strane invazivne vrste, a to su australske vrste roda *Cherax*: *Cherax destructor* (Clark, 1936) i *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868). Također, unesene su i nove strane invazivne vrste roda *Oreconectes* podrijetlom iz Sjeverne Amerike: vrsta *Oreconectes immunis* (Hagen, 1870), *Oreconectes juvenilis* (Hagen, 1870) te *Oreconectes* cf. *virilis*. Osim roda *Cherax* i *Oreconectes* unesene su i 3 strane vrste roda *Procambarus*: *Procambarus* cf. *acutus*, *Procambarus fallax* f. *virginalis* te *Procambarus alleni* (Kouba i sur., 2014).



**Slika 1.** Distribucija tri porodice slatkovodnih rakova u svijetu. (Izvor: <http://tolweb.org/Astacidea> )



**Slika 2.** Rasprostranjenost vrste *Astacus leptodactylus* na području Europe. (Izvor: Kouba i sur., 2014.; <http://www.crayfish.ro/distribution.html>). Crvenom bojom je označen prirodni areal.

U Hrvatskoj su, prema dosadašnjim provedenim istraživanjima, zabilježene četiri autohtone vrste deseteronožnih slatkovodnih rakova porodice Astacidae: *A. pallipes*, *A. torrentium*, *A. astacus* i *A. leptodactylus* (Maguire i Gottstein Matočec, 2004). U južnom i jugozapadnom dijelu Hrvatske, na prostorima Like, Dalmacije, Istre te pojedinim otocima u Jadranskom moru, rasprostranjena je vrsta *A. pallipes* dok vrstu *A. torrentium* možemo naći u rijekama kontinentalne Hrvatske na višim nadmorskim visinama. Vrsta *A. astacus*, rasprostranjena u kontinentalnom dijelu Hrvatske, dolazi u rijekama dunavskog sliva. Također je zabilježena u rijekama jadranskog sliva, u koje je antropogeno unesena (Maguire i sur., 2011). Vrsta *A. leptodactylus* prirodno je rasprostranjena u istočnoj i središnjoj Hrvatskoj, u rijekama savskog i dravskog sliva te je zabilježeno njezino širenje prema jugu (Maguire, 2010). Zabilježene su i tri alohtone invazivne vrste rakova porijeklom iz Sjeverne Amerike: *O. limosus* (bodljobrادي rak), *P. leniusculus* (signalni rak) (Maguire i sur., 2011) te *Procambarus fallax* f. *virginialis* (mramorni rak) (Samardžić i sur., 2014).

### 1.3. Vrsta *Astacus leptodactylus*

#### 1.3.1. Sistematika

Sistematska podjela do vrste *A. leptodactylus* prema Brusca i Brusca (2003) prikazana je u Tablici 1.

**Tablica 1.** Sistematika vrste *A. leptodactylus*

<b>CARSTVO</b>	Animalia
<b>PODCARSTVO</b>	Metazoa
<b>ODJELJAK</b>	Eumetazoa
<b>PODODJELJAK</b>	Bilateria
<b>NADKOLJENO</b>	Ecdysozoa
<b>KOLJENO</b>	Arthropoda
<b>PODKOLJENO</b>	Crustacea
<b>RAZRED</b>	Malacostraca
<b>PODRAZRED</b>	Eumalacostraca
<b>NADRED</b>	Eucarida
<b>RED</b>	Decapoda
<b>PODRED</b>	Pleocyemata
<b>MEĐURED</b>	Astacidea
<b>NADPORODICA</b>	Astacoidea
<b>PORODICA</b>	Astacidae
<b>ROD</b>	<i>Astacus</i>
<b>VRSTA</b>	<i>Astacus leptodactylus</i> Eschscholtz, 1823.

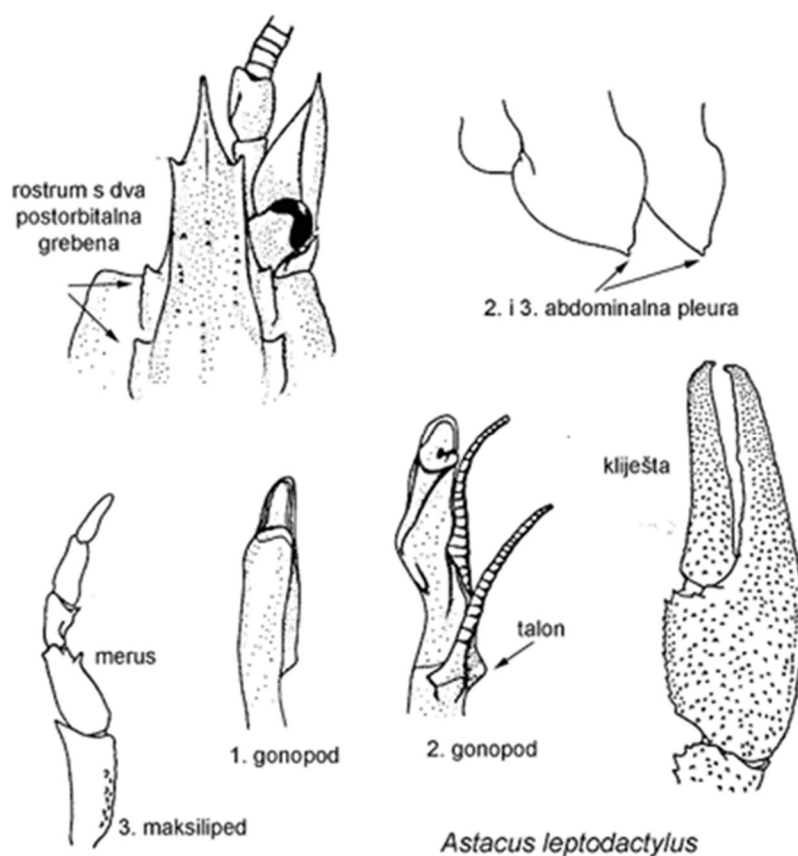
#### 1.3.2. Morfološke značajke vrste *A. leptodactylus*

Jedinke vrste *A. leptodactylus* (Slika 3.) narastu najčešće ukupne dužine tijela (ukupna dužina - od vrha rostruma do kraja telzona) do 15 cm, iako mogu narasti i do ukupne dužine od 30 cm. S leđne strane obojeni su žutosmeđe i maslinastozeleno, dok su s ventralne strane blijedo žute boje. Boja i oblik tijela jedinke može varirati ovisno o okolišu u kojem se nalazi i na koji se adaptirala. Vrsta *A. leptodactylus* prepoznatljiva je po izrazitoj trnovitosti tijela koja je najizraženija iza cervikalne brazde. Abdominalne pleure završavaju trnom. Za vrstu je karakterističan izrazito dugačak rostrum s velikim i šiljastim rostralnim trnovima (rubovi rostruma su nazubljeni i gotovo paralelni). Rostralna rebra dobro su uočljiva, a mogu biti paralelna ili konkavna. Apeks rostruma dugačak je i istaknut. Prepoznatljiva karakteristika vrste

su i izrazito uska, dugačka kliješta s produljenim prstima bez udubljenja na nepokretnom prstu kliješta. Detalji bitni za determinaciju vrste prikazani su na Slici 4. Kod vrste *A. leptodactylus* izražen je spolni dimorfizam između mužjaka i ženki. Mužjaci ove vrste nakon postizanja spolne zrelosti, imaju produljene prste kliješta koji su puno duži od onih kod ženki, a ženke imaju širi abdomen (Maguire, 2010).



**Slika 3.** Vrsta *Astacus leptodactylus* (Izvor: <http://www.iucnredlist.org>)



**Slika 4.** Detalji vrste *Astacus leptodactylus* bitni za determinaciju (Izvor: <http://rakovi.biol.pmf.unizg.hr/rakovi/kljuc.htm>)

### 1.3.3. Biologija i životni ciklus

Rakovi ove vrste su omnivori te zbog svoje veličine tijela i dugog životnog vijeka čine ključnu kariku u hranidbenim mrežama slatkovodnih ekosustava. Svojim trofičkim aktivnostima te fizičkim promjenama staništa izravno utječu na stanište kao i na ostale slatkovodne organizme. Hrane se konzumirajući vodenu i poluvodenu vegetaciju, beskralježnjake bentosa te detritus. Uskoškari rakovi aktivni su i danju i noću što ih razlikuje od ostalih vrsta porodice Astacidae. Samim time, unose više hranjivih tvari u organizam, što je uzrok bržeg rasta u usporedbi s ostalim vrstama porodice Astacidae (Holdich, 2002). Mužjaci i ženke dosežu spolnu zrelost u trećoj godini života pri čemu dosežu ukupnu dužinu do 8,5 cm. Razmnožavanje se odvija u jesen, a reproduksijski ciklus ovisi o klimatskim uvjetima i uvjetima staništa. Parenje započinje s padom temperature u jesen te su mužjaci i ženke u to doba aktivniji. Primijećeno je da povišena temperatura odgađa početak parenja. Sezona parenja traje od

listopada do prosinca, iako se zbog pomaka u životnom ciklusu mogu pariti i u veljači i ožujku. Oplođena ženka nosi oplođena jaja između pleopodnih nožica do sljedećeg ljeta, a broj jaja ovisi o veličini ženke. Veće ženke nose više jaja. Vrsta *A. leptodactylus* je najplodnija vrsta od svih autohtonih europskih vrsta rakova, ženke ove vrste mogu proizvesti oko 200 – 400 jaja (Hofmann, 1971). Ženke nose oplođena jaja najčešće 5 do 8 mjeseci. Nakon izlijevanja, juvenilni rakovi ostaju uz majku te nakon prvog presvlačenja započinju samostalan život (Holdich, 2002). Prisutan je spolni dimorfizam i alometrijski rast pri čemu klijesta mužjaka i abdomen ženki rastu brže od ostalih dijelova tijela (Lowery, 1988; Grandjean i sur., 1997; Streissl i Hödl, 2002; Maguire i Klobučar, 2011). Životni ciklus rakova nastavlja se periodičnim presvlačenjima u toplijem dobu godine, kada životinje rastu. Broj presvlačenja i prirast u veličini, po presvlačenju, ovise o temperaturi i količini dostupne hrane. Starije životinje i ženke koje nose jaja presvlače se manji broj puta godišnje.

#### 1.3.4. Stanište

Rakovi iz roda *Astacus* zauzimaju raznolika staništa. Sve vrste preferiraju staništa koja pružaju mnoštvo povoljnih zaklona. Uskoškari rakovi žive u nizinskim rijekama s mekanim muljevitim dnom, estuarijima, jezerima, bočatim vodama te močvarama. Vole se skrivati tokom dana, a svoje sklonište nalaze pod kamenjem, korijenjem ili rupama koje izbuše u obalama potoka, rijeka, jezera ili unutar vodene vegetacije ili drugih objekata u vodi. Vrsta *A. leptodactylus* tolerantnija je na širi raspon ekoloških uvjeta u odnosu na druge autohtone europske vrste. Dobro podnosi lošije fizikalno – kemijske uvjete u slatkovodnim ekosustavima, eutrofne uvjete, muljevita dna, te može preživjeti pri vrlo lošoj kvaliteti vode, s velikim oscilacijama kisika i temperature (Holdich, 2002). U Hrvatskoj je vrsta *A. leptodactylus* rasprostranjena u rijekama savskog i dravskog slijeva te je zabilježeno njezino širenje prema jugu (Maguire, 2010).

#### 1.3.5. Ugroženost

Uzroci ugroženosti autohtonih europskih vrsta rakova, pa tako i uskoškarog raka, su velike količine otpadnih tvari u vodenim ekosustavima, regulacija vodenih tokova (uređivanje riječnih obala, kanaliziranje i obzidavanje obala) i prekomjerni nekontrolirani izlov. Nadalje, vrsta *A. leptodactylus* ugrožena je širenjem alohtonih invazivnih američkih vrsta rakova koji sa sobom nose opasnu bolest račju kugu, na koju su sami otporni, ali zato europske vrste od nje

ugibaju u velikom broju. Američke vrste agresivnije su od autohtonih europskih vrsta pa ih u kompeticiji za prostor i hranu istiskuju iz njihovih staništa. No, uskoškari rak je najotpornija i najrobusnija autohtona vrsta slatkovodnog deseteronožnog raka na području Europe te je također, od svih autohtonih vrsta slatkovodnih rakova, najotpornija na bolesti poput primjerice račje kuge (Hudina i sur., 2016). Zbog visokog fekunditeta, brzog životnog ciklusa i veličine tijela izrazito je kompetitivna te istiskuje ostale autohtone rakove iz njihovih staništa. Također, u mogućnosti je koegzistirati sa stranim invazivnim vrstama rakova, poput vrste *O. limosus* te ju čak može nadvladati u kompeticiji za resurse staništa. Iako je ugrožena antropogenim utjecajem i pojedinim invazivnim vrstama rakova zbog navedenih karakteristika i širenja areala rasprostranjenosti, nije zaštićena na globalnoj i nacionalnoj razini, dok je na IUCN – ovoj crvenoj listi proglašena kao najmanje zabrinjavajuća vrsta (IUCN, 2016). Uskoškari rak, zaštićen je lokalnim zakonodavstvom u pojedinim zemljama Europe, a u Hrvatskoj Zakonom o zaštiti prirode nije zaštićen.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

S obzirom da općenito nedostaju podaci o vrsti *A. leptodactylus* na europskom nivou, cilj ovog diplomskog rada je:

1. istražiti morfometrijske značajke ove vrste
2. analizama morfometrijskih značajki utvrditi postoje li razlike između populacija ove vrste skupljenih na nekoliko različitih lokaliteta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj
3. ukoliko razlike postoje, utvrditi one morfometrijske značajke po kojima se rakovi različitih populacija značajno razlikuju
4. usporediti rezultat morfometrijskih analiza s prethodno dobivenim rezultatima molekularnih analiza, kako bi se utvrdilo postoji li njihovo preklapanje.

Dobiveni podaci će poslužiti u daljnjim istraživanjima ove vrste, kako na području Hrvatske, tako i na području Europe.

Prije samog istraživanja postavljene su tri hipoteze:

- Hipoteza 1.: Ženke i mužjaci rakova vrste *A. leptodactylus* morfološki se značajno razlikuju.
- Hipoteza 2.: Rakovi iste vrste (*A. leptodactylus*), a različitih populacija, morfološki se značajno razlikuju.



- Hipoteza 3.: Intraspecijska divergencija, koja je zabilježena za ovu vrstu prema rezultatima molekularno filogenetskih istraživanja, među različitim populacijama, vidljiva je i u njihovim morfometrijskim značajkama (postoje razlike u morfometrijskim značajkama između jedinki iz različitih populacija).

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Područja uzorkovanja

Područja s kojih su prikupljeni uzorci rakova vrste *A. leptodactylus* lokaliteti su u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (Slika 5.) : rijeka Mrežnica, Treće maksimirsko jezero te jezero Rakitje.

GPS koordinate lokaliteta s kojih su prikupljeni uzorci (Slika 5. - prikazano crvenim točkama na uvećanom prikazu):

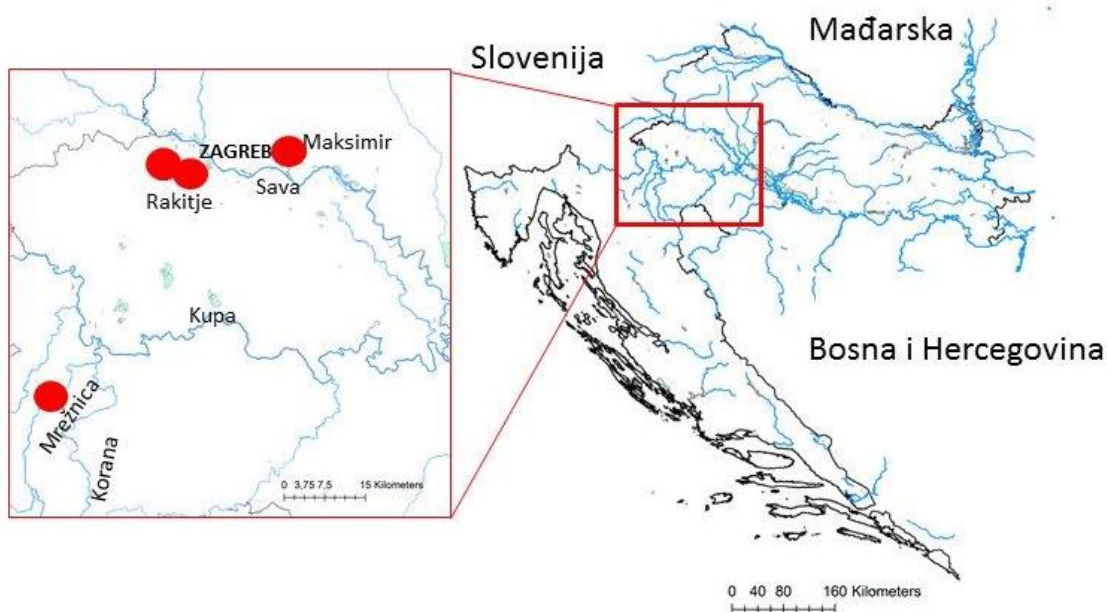
Mrežnica 5537219, 5029051

Rakitje – 1. dio jezera 5565672, 5071502

Rakitje – 2. dio jezera 5565443, 5072879

Treće maksimirsko jezero 5579669, 5075632

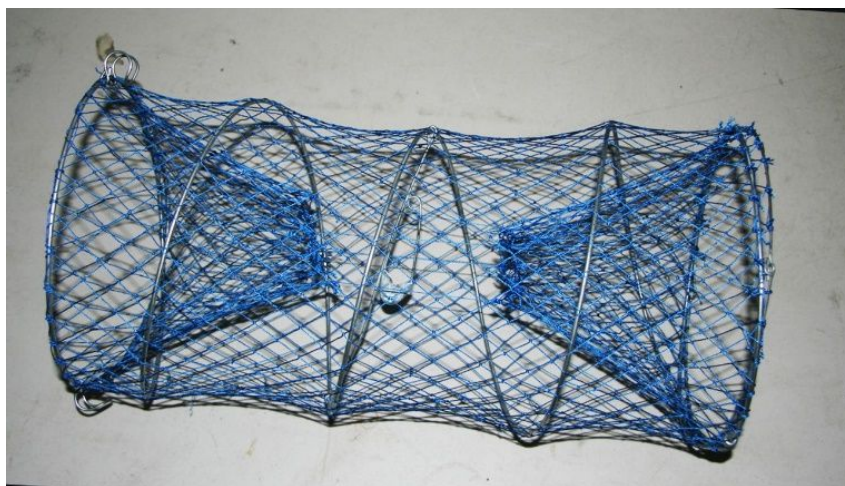
Rijeka Mrežnica relativno je mala rijeka, lijevi je pritok rijeke Korane, a teče kroz krško područje. Izvire kod Slunja u Kordunu, a ulijeva se u Koranu kod Karlovca. Treće maksimirsko jezero jedno je od 5 umjetnih jezera na području Parka Maksimir. Nalazi se zapadno od Prvog i Drugog te je najmlađe jezero parka. Dubine je od 1 do 4 m. Jezero Rakitje obuhvaća 4 dijela, to jest čine ga 4 manja jezera - Finzula, Votok, Juš i Nadolez. Ukupna površina jezera je 210 ha, nalazi se u mjestu Rakitje, Grad Sveta Nedjelja, na zapadnom dijelu grada Zagreba. Prosječna dubina je 2,5 m, a najveća 5,0 m. Smatra se jednim od najpoželjnijih mjesta za sportski ribolov zbog velike količine kapitalnih primjeraka slatkovodne ribe, posebno šarana.



**Slika 5.** Područja uzorkovanja prikazana na karti u koordinatnom sustavu GK5, Mercatorova projekcija. Karta je napravljena u programskom paketu ArcGis 10.3

### 3.2. Lov i uzorkovanje rakova

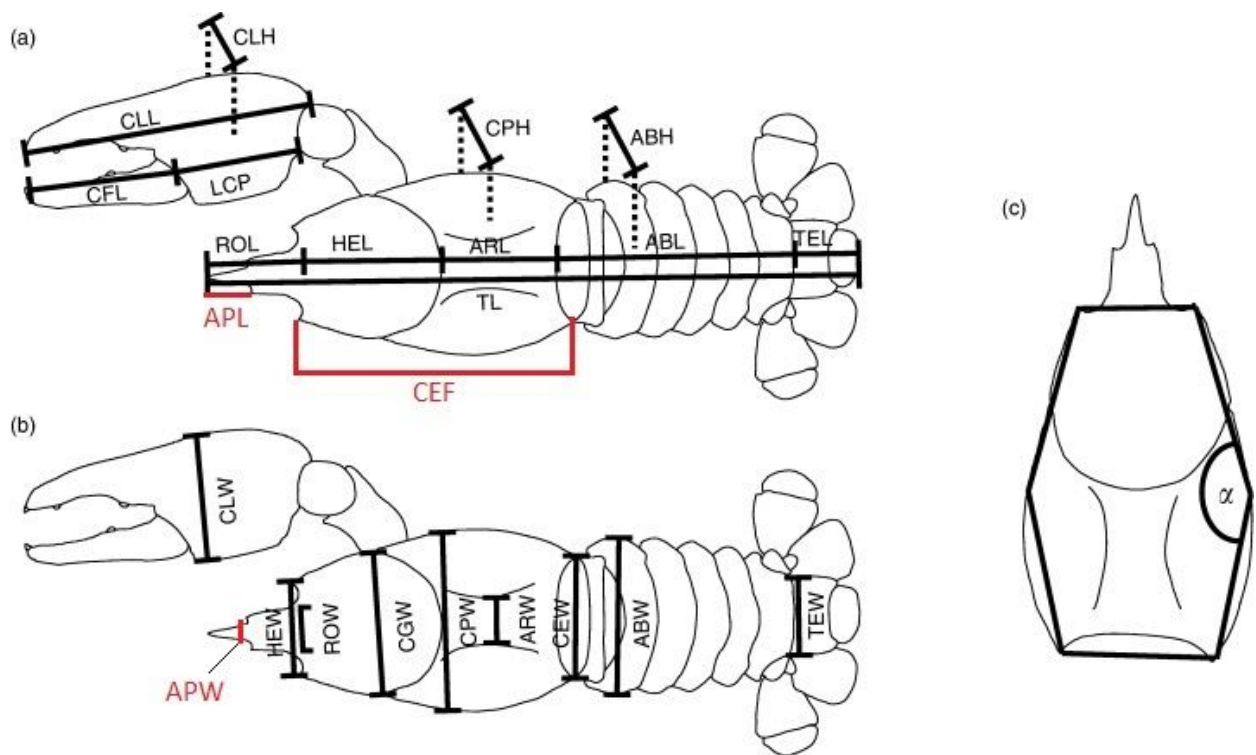
Uzorci rakova vrste *A. leptodactylus* prikupljeni su krajem lipnja 2016. godine s tri lokaliteta: rijeka Mrežnica, Treće maksimirsko jezero te jezero Rakitje. Za lov rakova korištene su LiNi vrše (Slika 6.) (Westman i sur., 1978). LiNi vrše su profesionalno izrađene sklopive zamke za lov rakova u većim vodenim tijelima. Napravljene su od mreže s veličinom oka od 14 mm i metalne žice cilindričnog oblika s dva ljevkasta ulaza. Vrše s mamcem postavljene su uz rub jezera i rijeke te ostavljene preko noći. Vrše su provjerene drugo jutro, a ulovljeni rakovi stavljeni su u posebno označene posude prije daljnje obrade.



**Slika 6.** Profesionalna LiNi vrša za lov rakova u jezerima i dubljim rijekama (Izvor: <http://www.trapperarne.com>)

### 3.3. Određivanje vrste, spola i morfometrijskih značajki rakova

Uzorci rakova su determinirani do razine vrste pomoću ključa za determinaciju rakova porodice Astacidae (Maguire, 2010) te su sve jedinke vrste *A. leptodactylus* konzervirane u 95%-tnom alkoholu. Tijekom morfometrijske analize u laboratoriju svakoj jedinki najprije je određen spol prema prisutnosti, odnosno odsutnosti, prvih začanih nogu. Mužjaci imaju prva dva para pleopodija preobraženih u organe za kopulaciju – gonopode, dok je kod ženki prvi par začanih nogu reduciran. Nakon određivanja spola, kao opaske, bilježeni su svi fizički nedostaci jedinke, poput nedostataka pojedinog tjelesnog nastavka, prisutnost simptoma bolesti i melanizacije. Naposljetku, mjerena je 21 morfometrijska značajka, preuzeta iz Sint i sur. (2005) (Slika 7.), pomoću digitalnog pomičnog mjerila (Slika 8.) Mjerene morfometrijske značajke prikazane su u Tablici 2. Dodatne mjere (označeno crvenom bojom na Slici 6.) su uključivale dužinu cefalotoraksa (CEF), širinu apeksa rostruma (APW) i duljinu apeksa rostruma (APL). Bilateralne karakteristike (CEF, CLL, CLW, CLH, CPL i CFL) mjerene su s obje strane tijela. S obzirom da se morfološka obilježja karapaksa mogu pokazati korisnima pri razlikovanju populacija (Sint i sur., 2005) u daljnje analize uključena je i bočna zakrivljenost karapaksa izražena kao kut  $\alpha$ , a izračunata je prema formuli  $\alpha = \arctan (HEL/((CPW - HEW)/2)) + \arctan (ARL/((CPW - CEW)/2))$ .



**Slika 7.** Pozicija mjerenih morfometrijskih značajki na uskoškarom raku. Označene mjere: a) duljina i visina, b) mjere širina, c) kut  $\alpha$ , mjera bočne zakrivljenosti karapaksa (Izvor: Sint i sur., 2005). Crvenom bojom označena je pozicija dodatnih mjerenih morfometrijskih značajki (APL, APW, CEF).



**Slika 8.** Digitalno pomično mjerilo (Izvor : <https://www.amazon.com/>)

**Tablica 2.** Opis i oznaka 21 morfometrijske značajke preuzete iz Sint i sur. (2005)

Oznaka	Opis
CLL	duljina nepomičnog prsta kliješta
CLW	širina kliješta
CLH	debljina kliješta
CPL	duljina dlana kliješta
CFL	duljina pomičnog prsta kliješta
ROL	duljina rostruma
ROW	širina rostruma
HEL	duljina glave
HEW	širina glave iza očiju
ARL	duljina prsa
ARW	širina areole
ABL	duljina abdomena
ABW	širina 1. začanog kolutića
ABH	debljina abdomena
TEL	duljina telzona
TEW	širina telzona
CPW	širina prsa iza cervikalne brazde
CGW	širina glave ispred cervikalne brazde
CEW	širina cefalotoraksa prije abdomena
CPH	debljina prsa
TL	totalna duljina

### 3.4. Statistička obrada podataka

Svi podaci za morfometrijska obilježja uneseni su u tablicu u računalni program Microsoft Excel. Kod korištenja morfometrijskih analiza za razlikovanje populacija ili vrsta mogu se pojaviti problemi zbog varijacija u ukupnoj veličini jedinki i zbog toga se sve linearne mjere moraju normalizirati konverzijom u specifične omjere (Chambers i sur., 1979). Upravo zato, svi podaci su normalizirani tako što im je vrijednost podijeljena s odgovarajućom postorbitalnom duljinom ( $POL = HEL + ARL$ ). Prije samih statističkih analiza, testirano je odgovaraju li dobiveni podaci normalnoj raspodjeli. Podaci su odgovarali normalnoj raspodjeli te su obrađeni parametrijskim metodama. Konačno, koristeći računalni program za analizu podataka Statistica (verzija 13.1), napravljena je statistička analiza podataka. Sve morfometrijske značajke opisane su najprije deskriptivnom analizom (broj jedinki, minimalna i maksimalna vrijednost, srednja vrijednost, standardna devijacija) za svaki lokalitet, a potom analizirano je postoje li značajne razlike između spolova u svim mjerenim i izračunatim parametrima morfometrijskih obilježja pomoću t-testa. S obzirom da je utvrđeno da postoje značajne razlike između spolova, daljnje analize rađene su posebno za mužjake i posebno za ženke. Isto tako, pomoću t-testa istraženo je postoji li značajna razlika između bilateralnih značajki. Budući da značajna razlika nije utvrđena niti za jednu bilateralnu mjeru, u daljnju analizu uključene su značajke desne strane tijela. Razlike u svim mjerenim parametrima između ispitivanih lokaliteta/populacija analizirane su pomoću ANOVA testa, zasebno za mužjake i ženke. Općenito, analiza varijance (ANOVA test) je analitički model za testiranje značajnosti razlike i koristi se kada imamo više od dvije grupe uzoraka. Prednost ove metode je u tome što u model ulaze u obzir sve varijable, kao i njihov međusobni utjecaj, što je nemoguće procijeniti na drugi način. Logika jednostavne analize varijance počiva na odstupanjima pojedinačnih rezultata od vlastite aritmetičke sredine i od zajedničke aritmetičke sredine svih skupina rezultata. U ovom radu provedena je jednosmjerna analiza (Breakdown and one-way ANOVA) varijance. Uz ANOVU, analizirano je, također posebno za svaki spol, između kojih populacija ženki odnosno mužjaka, postoje razlike u mjerenih morfometrijskim značajkama, pomoću post-hoc testa. Proveden je Tukey HSD (honestly significant difference) test za nejednaki broj jedinki (N) u populacijama kako bi se usporedile sve populacije, a odabran je jer je prikladan kod većeg uzorka jedinki, u ovom slučaju rakova. Naposljetku, provedena je multipla diskriminativna analiza, kako bi se utvrdilo koje varijable (morfometrijske značajke) najviše pridonose razdvajanju mužjaka odnosno ženki proučavanih populacija. Kako bi se dobio

grafički prikaz diskriminativne analize provedene na morfometrijskim značajkama rakova vrste *A. leptodactylus*, urađena je kanonička analiza.

#### 4. REZULTATI

Tijekom istraživanja uhvaćeno je ukupno 214 jedinki vrste *A. leptodactylus* iz četiri populacije. Broj ulovljenih jedinki vrste *A. leptodactylus*, broj mužjaka i ženki po istraživanim lokalitetima prikazan je u Tablici 3.

**Tablica 3.** Broj ulovljenih jedinki vrste *Astacus leptodactylus*, broj mužjaka i ženki po istraživanim lokalitetima.

Istraživani lokalitet	Broj ulovljenih jedinki	Broj mužjaka	Broj ženki
Mrežnica	83	42	41
Rakitje (prvi dio jezera)	20	8	12
Rakitje (drugi dio jezera)	48	11	37
Treće maksimirsko jezero	63	30	33

##### 4.1. Deskriptivna statistika morfometrijskih značajki

Tijekom deskriptivne statističke analize korišteni su sirovi podaci (ne standardizirani/ne normalizirani). U populaciji uskoškarog raka u Mrežnici (Prilog 1.) najduži mužjak imao je ukupnu dužinu tijela 127,32 mm, dok je ukupna dužina tijela najveće ulovljene ženke na istom lokalitetu nešto manja, 117,36 mm. Ukupna dužina tijela najmanje ulovljene ženke na istom lokalitetu iznosi 61,83 mm, a najmanjeg mužjaka 68,30 mm. U populaciji jezera Rakitje (1. dio jezera) (Prilog 2.) najdulji mužjak bio je dug 114,49 mm, dok je ukupna dužina najveće ženke ulovljene na istom lokalitetu nešto veća, 119,94 mm. Ukupna dužina najmanjeg mužjaka je 75,29 mm, a najmanje ženke 69,86 mm. U populaciji jezera Rakitje (2. dio jezera) (Prilog 3.) najveći ulovljeni mužjak bio je dug 96,09 mm, dok je ukupna dužina tijela najveće ulovljene ženke na istom lokalitetu nešto veća, 110,46 mm. Ukupna dužina najmanjeg mužjaka je 68,00 mm, a najmanje ženke 65,69 mm. U populaciji Trećeg maksimirskog jezera (Prilog 4.) najveći ulovljeni mužjak bio je dug 137,90 mm, dok je ukupna dužina najveće ulovljene ženke na istom lokalitetu manja, 102,22 mm. Najmanji mužjak ulovljen na istom lokalitetu ukupne je dužine 56,59 mm, a najmanja ženka 46,96 mm. Zaključno, najveći mužjak, na svim istraživanim lokalitetima, uhvaćen je u Trećem maksimirskom jezeru (TL = 137,90 mm), dok je najveća

ženka uhvaćena u prvom dijelu jezera Rakitje (TL = 119,94 mm). Također, uz najvećeg mužjaka, u Trećem maksimirskom jezeru ulovljen je i najmanji mužjak (TL = 56,59mm) te najmanja ženka (TL = 46,96 mm).

#### 4.1.1. T- test

Rezultati t-testa za nezavisne uzorke, od kojih jedan uzorak predstavljaju mužjaci rakova, a drugi ženke rakova vrste *A. leptodactylus*, pokazali su da postoje statistički značajne razlike između mužjaka (91 jedinka ukupno) i ženki (123 jedinke ukupno). Značajna razlika postoji u slijedećim mjerenim morfometrijskim značajkama za sve lokalitete zajedno ( $p \leq 0.05$ ): TL, ROL, HEL, ARL, ABL, TEL, CLL, CFL, CLH, CPH, ABH, HEW, ROW, ARW, CEW, ABW, TEW, APL, APW (Prilog 5.). Mužjaci (42 jedinke) i ženke (41 jedinka) populacije rijeke Mrežnice razlikuju se u mjerenim morfometrijskim značajkama ( $p \leq 0.05$ ): TL, ROL, HEL, ARL, ABL, TEL, CLL, CFL, CPL, CLH, CPH, ABH, HEW, ROW, CEW, ABW, TEW, APL, APW (Prilog 6.) Mužjaci (8 jedinki) i ženke (12 jedinki) populacije jezera Rakitje (1. dio jezera) razlikuju se u mjerenim morfometrijskim značajkama ( $p \leq 0.05$ ): TEL, ABW, TEW i APW (Prilog 7.) Mužjaci (11 jedinki) i ženke (37 jedinki) populacije jezera Rakitje (2. dio jezera) razlikuju se u mjerenim morfometrijskim značajkama ( $p \leq 0.05$ ): TL, ABL, TEL, ABH, HEW, ROW, ARW, CEW, ABW, TEW, CEF (Prilog 8.). Mužjaci (30 jedinki) i ženke (33 jedinke) populacije Trećeg maksimirskog jezera razlikuju se u mjerenim morfometrijskim značajkama ( $p \leq 0.05$ ): ABL, TEL, ABH, CEW, ABW, TEW (Prilog 9.). U mjerenim morfometrijskim značajkama u kojima se mužjaci i ženke svih grupa razlikuju, ženke su veće od mužjaka u mjerama TL, ROL, ARL, ABL, TEL, CPH, ABH, HEW, ROW, ARW, CEW, ABW, TEW, APL i APW, dok su mužjaci veći od ženki u mjerama HEL, CLL, CFL i CLH. Ovim analizama utvrđeno je da se mužjaci i ženke značajno razlikuju u mjerenim morfometrijskim obilježjima te su daljnje analize provedene odvojeno za svaki spol.

## 4.2. Analiza varijance

Rezultati ANOVA testa pokazali su da postoje značajne razlike u većini mjerenih morfometrijskih karakteristika među populacijama mužjaka i među populacijama ženki. Mužjaci se nisu značajno razlikovali među populacijama samo u 4 mjerene morfometrijske



značajke - CLW, HEW, CPW, ABW (Prilog 10.), dok se ženke nisu značajno razlikovale u samo dvije morfometrijske značajke - ABL, CPH (Prilog 11.) ( $p \geq 0.05$ ).

#### 4.2.1. Post-hoc test

Rezultati post-hoc testa, zasebno za svaki spol, pokazali su u kojim varijablama postoji statistički značajna razlika između mužjaka, odnosno ženki, istraživanih populacija. Rezultati su prikazani u Tablici 4.

**Tablica 4.** Rezultati post-hoc testa za mužjake i ženke. Rezultati za mužjake prikazani su iznad dijagonale, a za ženke ispod dijagonale.

Lokaliteti/populacije	3. maksimirsko jezero	Rakitje 1	Rakitje 2	Mrežnica
3. maksimirsko jezero	X	TL, ROL, HEL, ARL, CFL, CPH, ROW, CGW, CEF	TL, ROL, HEL, ARL, ABH, ROW, CGW, CEW, APL	HEL, ARL, CLL, CFL, CPL, CLH, ABH, ROW, CGW, CEW, TEW, CEF, APW, kut $\alpha$
Rakitje 1	HEL, ARL, CLL, TEL, CFL, CPL, CLH, CLW, ABH, ROW, CGW, CEW, ABW, CEF, APL	X	CPH	CPH, TEW, APL, APW
Rakitje 2	TL, ROL, HEL, ARL, CLL, TEL, CFL, CPL, CLH, CLW, ABH, ROW, HEW, CGW, ARW, CEW, ABW, CEF, APL, kut $\alpha$		X	TEW, APW, APL
Mrežnica	TL, HEL, ARL, CLL, TEL, CFL, CPL, CLH, ABH, ROW, CGW, CPW, CEW, ABW, CEF, APL, APW, kut $\alpha$	CLW, ABW, APW, CPL	CLL, TEL, CLH, CLW, ROW, ABW, TEW, APL, APW, CPL	X

### 4.3. Multipla diskriminativna analiza

Budući da su dobivene značajne razlike u mjerenim morfometrijskim karakteristikama između populacija, za mužjake i za ženke, provedena je multipla diskriminativna analiza kako bi se utvrdilo koje morfometrijske karakteristike najviše pridonose razdvajanju mužjaka, odnosno ženki, proučavanih populacija. Diskriminacija između mužjaka je statistički značajna (Wilksova lambda = 0,01366,  $F = 13,437$ ,  $p < 0,0001$ ). Wilksova lambda je pokazatelj statističke značajnosti diskriminacijske snage modela i poprima vrijednosti od 1 (nema diskriminacijske snage) do 0 (perfektna diskriminativna snaga). Vrijednosti u 1. stupcu tablice Prilog 12. pokazuju vrijednost Wilksove lambde kada je određena varijabla "ušla" u model. Parcijalna Wilksova lambda, mjera je pojedinačnog doprinosa varijable u diskriminaciji grupa i što je manja njegova vrijednost to je veći pojedinačni doprinos varijable u diskriminaciji. Dakle od 17 diskriminativnih morfometrijskih značajki korištenih u analizi, morfometrijske značajke koje imaju velik pojedinačni doprinos diskriminaciji mužjaka, od najvećeg prema manjem, su : ROW, CLW, TEL, TEW, CPH, ABH, APL, CLH i ARL (Prilog 12.). Diskriminacija između ženki je statistički značajna (Wilksova lambda = 0,01287,  $F = 21,455$ ,  $p < 0,0001$ ). Od 16 diskriminativnih morfometrijskih značajki korištenih u analizi, morfometrijske značajke koje imaju velik pojedinačni doprinos diskriminaciji ženki, od najvećeg prema manjem su : ABW, ROW, CEW, CLH, TEL, CLW, ARL, ABH, APW i TL (Prilog 13.).

Diskriminativnom analizom po koracima dobiveni su visoki postoci ispravnih klasifikacija za mužjake i ženke *A. leptodactylus* (Tablica 5. i 6.). Ukupno je točno klasificirano 96,70% mužjaka i 91,06% ženki. Postotak po populaciji kretao se od 87,50% do 100% za mužjake, a od 41, 67% do 100% za ženke.

**Tablica 5.** Postotak ispravno klasificiranih jedinki mužjaka *A. leptodactylus* na temelju funkcija odgovarajućih diskriminativnih analiza

lokaliteti	% točno klasificiranih	Mrežnica $p=,46154$	Rakitje – 1. dio j. $p=,08791$	Rakitje – 2. dio j. $p=,12088$	3. maksimirsko j. $p=,32967$
Mrežnica	97,62	41	1	0	0
Rakitje - 1. dio j.	87,50	0	7	1	0
Rakitje - 2. dio j.	90,91	0	1	10	0
3. maksimirsko j.	100,00	0	0	0	30
ukupno	96,70	41	9	11	30

**Tablica 6.** Postotak ispravno klasificiranih jedinki ženki *A. leptodactylus* na temelju funkcija odgovarajućih diskriminativnih analiza

lokaliteti	% točno klasificiranih	Mrežnica p=,33333	Rakitje – 1. dio j. p=,09756	Rakitje – 2. dio j. p=,30081	3. maksimirsko j. p=,26829
Mrežnica	92,68	38	2	1	0
Rakitje – 1. dio j.	41,67	1	5	6	0
Rakitje – 2. dio j.	97,30	0	1	36	0
3. maksimirsko j.	100,00	0	0	0	33
ukupno	91,06	39	8	43	33

#### 5.1.1. Kanonička analiza

Izvršena je kanonička diskriminativna analiza na osnovi karakterističnih korjenova. Dobivene su tri diskriminativne funkcije. Test funkcija napravljen je Hi-kvadrat (Chi – square) testom (Tablica 7. i 8.). Prva i druga kanonička diskriminativna funkcija statistički su značajne, dok treća to nije pa se preko nje u ovom radu neće tumačiti rezultati.

**Tablica 7.** Hi-kvadrat (Chi – square) test sa izvađenim korijenima za mužjake

Izvađeni korijen	Svojstvena vrijednost	kanonički R	Wilksova Lambda	Hi-kvadrat.	Stup.slob.	p-vrij.
0	16,87	0,97	0,01	341,33	51	≥ 0,01
1	1,72	0,79	0,24	112,14	32	≥ 0,01
2	0,51	0,58	0,66	32,72	15	≥ 0,10

**Tablica 8.** Hi-kvadrat (Chi – square) test sa izvađenim korijenima za ženke

Izvađeni korijen	Svojstvena vrijednost	kanonički R	Wilksova Lambda	Hi-hvadrat	Stup.slob.	p-vrij.
0	16,42	0,97	0,01	487,50	48	≥ 0,01
1	2,91	0,86	0,22	167,44	30	≥ 0,01
2	0,14	0,35	0,88	14,75	14	≥ 0,39

Izračunata je struktura diskriminativne funkcije, odnosno standardizirani kanonički koeficijenti, svojstvena vrijednost i objašnjena varijanca za kanoničku diskriminativnu funkciju (Tablica 9. i 10.). Varijable koje najviše pridonose razdvajanju mužjaka u funkciji 1 su: ROW, CLW i TEL. U funkciji 2 to su varijable: APL, CLW i TEW. Varijable koje najviše pridonose

razdvajanju ženki u funkciji 1 su: CLH, ROW i CEW. U funkciji 2 to su varijable: ABW, APL i ROW.

**Tablica 9.** Standardizirani kanonički koeficijenti za kanoničku diskriminativnu funkciju za mužjake *A. leptodactylus*

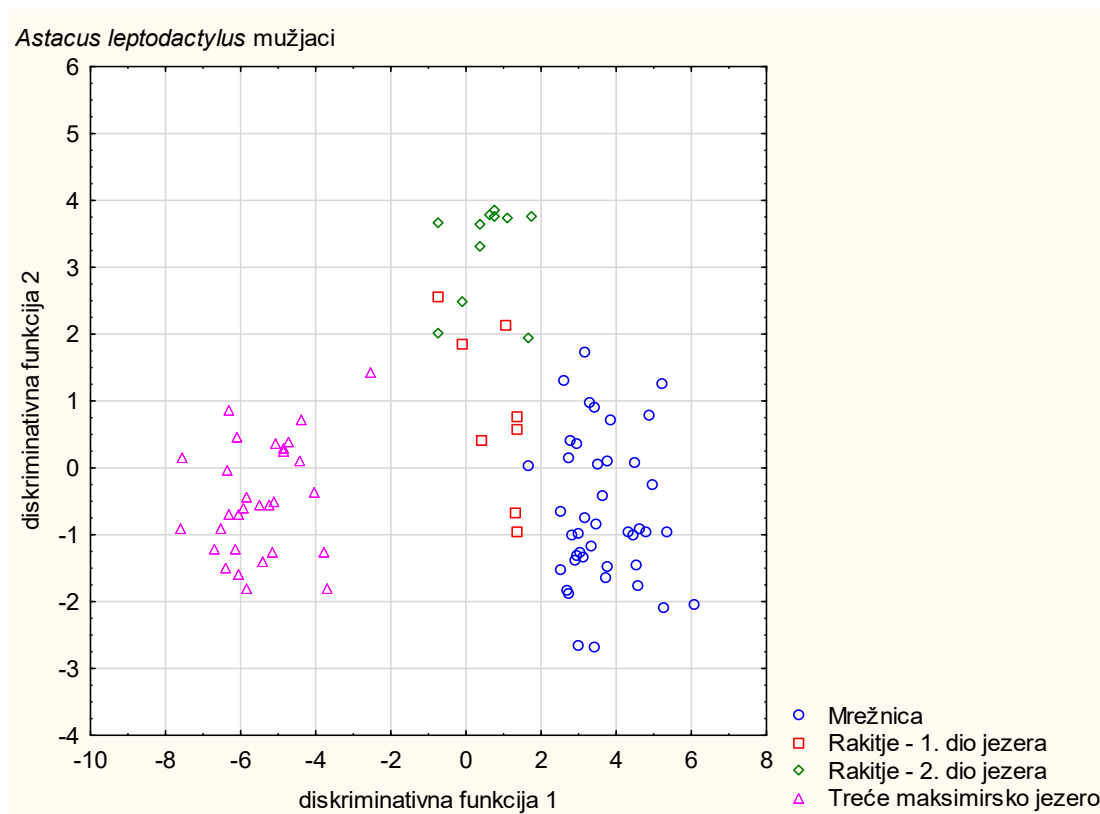
Morfometrijska značajka	korijen 1	korijen 2	korijen 3
ABH	-0,45	-0,46	0,21
ROW	1,28	-0,66	-0,48
APW	-0,57	0,27	0,44
TEW	-0,37	0,75	-0,19
ROL	0,16	-0,02	-0,42
CLH	0,65	0,65	-0,78
ARL	0,10	0,57	0,34
CLW	-1,51	-0,87	-1,57
APL	0,62	1,12	-0,09
CPH	-0,49	0,01	-0,78
CGW	0,43	-0,02	0,23
CEW	-0,40	0,04	0,30
TEL	1,12	0,70	1,58
CLL	0,67	-0,22	0,57
CEF	0,27	-0,26	-0,29
ABL	-0,41	-0,25	-0,10
CPL	0,23	0,61	0,82
Svojstvena vrijednost	16,87	1,72	0,51
Objašnjena varijanca	0,88	0,97	1,00

**Tablica 10.** Standardizirani kanonički koeficijenti za kanoničku diskriminativnu funkciju za ženke *A.leptodactylus*

Morfometrijske značajke	korijen 1	korijen 2	korijen 3
TEL	0,41	-0,32	-0,25
ABW	0,31	0,83	-0,23
ROW	0,69	0,47	-0,21
CLL	0,23	-0,15	-0,02
CEW	-0,68	0,08	0,12
CLW	-0,67	-0,10	-0,71
APL	0,24	-0,48	0,69
CLH	0,73	-0,34	0,27
ABH	-0,45	0,15	0,27

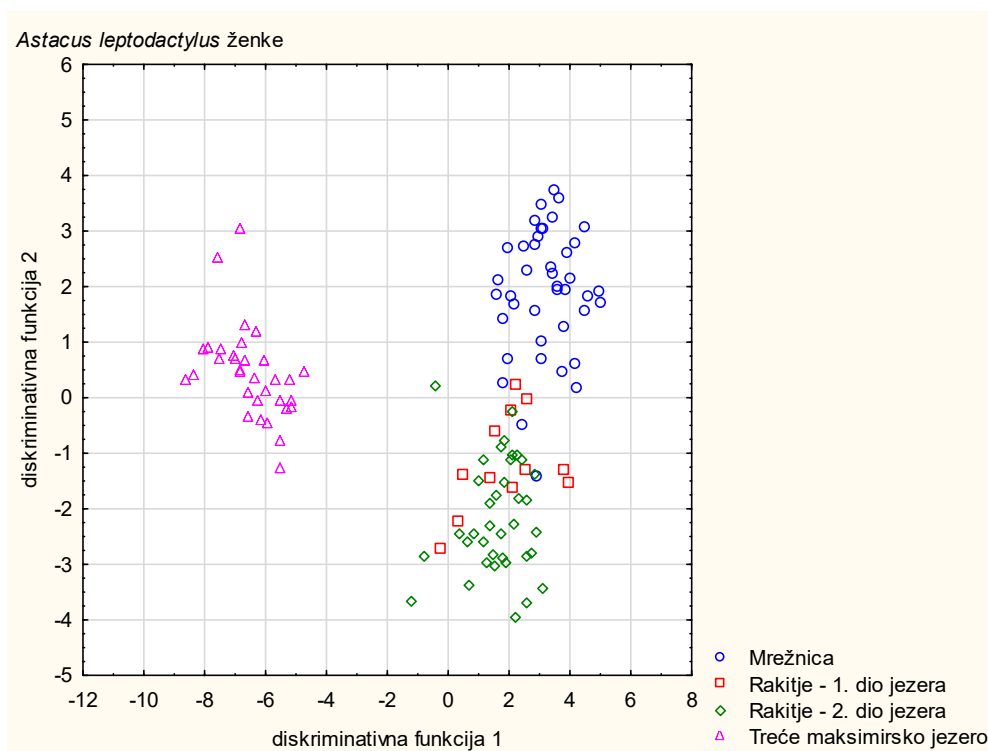
ARL	0,43	-0,20	0,55
TEW	0,16	-0,34	-0,15
APW	-0,39	0,01	-0,55
ARW	-0,04	-0,11	0,57
TL	0,56	-0,01	0,26
ROL	-0,40	0,17	-0,16
CEF	-0,11	-0,30	-0,02
Svojtvena vrijednost	16,42	2,91	0,14
Objašnjena varijanca	0,84	0,99	1,00

Napravljen je grafički prikaz prvih dviju kanoničkih diskriminativnih funkcija za bolju vizualizaciju razdvojenih populacija za mužjake (Slika 9.) i za ženke (Slika 10.) Na grafičkom prikazu kanoničke analize provedene na morfometrijskim značajkama mužjaka rakova vrste *A. leptodactylus*, prva diskriminativna funkcija najviše odvaja mužjake Rakitja (2. dio jezera) od ostalih populacija. Kako je prva diskriminativna funkcija obilježena visokim negativnim opterećenjem za varijablu CLW, a visokim pozitivnim opterećenjem za varijable ROW i TEL, možemo reći da što su manje vrijednosti CLW, mužjaci rakova najvjerojatnije pripadaju populaciji Mrežnice ili Trećeg maksimirskog jezera, a što su veće vrijednosti ROW i TEL, možemo reći da mužjaci rakova najvjerojatnije pripadaju populaciji Rakitje (2. dio jezera). Na isti način možemo objasniti diskriminaciju mužjaka prema drugoj diskriminativnoj funkciji. Druga diskriminativna funkcija najviše odvaja mužjake Trećeg maksimirskog jezera i u nekoj mjeri, mužjake Mrežnice od ostalih populacija. Kako je druga diskriminativna funkcija obilježena visokim negativnim opterećenjem za varijablu CLW, a visokim pozitivnim opterećenjem za varijable APL i TEW, možemo reći da što su manje vrijednosti CLW, mužjaci rakova najvjerojatnije pripadaju populaciji Trećeg maksimirskog jezera, a što su veće vrijednosti APL i TEW, možemo reći da mužjaci rakova najvjerojatnije pripadaju populacijama jezera Rakitje ili Mrežnice.



**Slika 9.** Kanonički prikaz diskriminativne analize provedene na morfometrijskim značajkama mužjaka rakova vrste *A. leptodactylus*.

Za ženke, kako je vidljivo na grafičkom prikazu diskriminativne analize (Slika 10.) provedene na morfometrijskim značajkama, prva diskriminativna funkcija najviše odvaja ženke populacije Mrežnice. Kako je prva diskriminativna funkcija obilježena visokim negativnim opterećenjem za varijablu CEW, a visokim pozitivnim opterećenjem za varijable ROW i CLH, možemo reći da što su niže vrijednosti CEW, ženke rakova najvjerojatnije pripadaju populacijama jezera Rakitje ili Trećeg maksimirskog jezera, a što su više vrijednosti ROW i CLH, možemo reći da ženke rakova najvjerojatnije pripadaju populaciji Mrežnice. Na isti način možemo objasniti diskriminaciju ženki prema drugoj diskriminativnoj funkciji. Druga diskriminativna funkcija najviše odvaja ženke Trećeg maksimirskog jezera od ostalih populacija. Kako je druga diskriminativna funkcija obilježena relativno visokim negativnim opterećenjem za varijablu APL, a visokim pozitivnim opterećenjem za varijable ROW i ABW, možemo reći da što su manje vrijednosti APL, ženke rakova najvjerojatnije pripadaju populaciji Trećeg maksimirskog jezera, a što su veće vrijednosti ROW i ABW, možemo reći da ženke rakova najvjerojatnije pripadaju populacijama jezera Rakitje ili Mrežnice.



**Slika 10.** Kanonički prikaz diskriminativne analize provedene na morfometrijskim značajkama ženki rakova vrste *A. leptodactylus*.

## 5. RASPRAVA

### 5.1. Općenite karakteristike populacija

Vrsta *A. leptodactylus* – uskoškari rak, vrsta je slatkovodnog raka koja je u sklopu ovog diplomskog rada proučavana na tri lokaliteta; u Trećem maksimirskom jezeru, u rijeci Mrežnici i u jezeru Rakitje. U jezeru Rakitje proučavane su dvije populacije, jedna s prvog, a druga s drugog dijela jezera. Prema očekivanjima, najveći broj ulovljenih jedinki rakova vrste *A. leptodactylus* bio je u rijeci Mrežnici - 83 jedinke, a najmanji u 1. dijelu jezera Rakitje - 20 jedinki. Najveća populacija uskoškarog raka je na lokalitetu Mrežnice, što možemo pripisati dobrim karakteristikama staništa koje pruža raznolikost zaklona i dovoljno resursa te relativnu izoliranost od antropogenih utjecaja za razliku od jezera Rakitje i Trećeg maksimirskog jezera koji su podložni stalnom snažnom antropogenom utjecaju. Naime, nemoguće je pouzdano utvrditi veličine populacija, ali možemo zaključiti, s obzirom na broj ulovljenih jedinki na svim lokalitetima, da su populacije ove vrste relativno brojne na svim istraživanim lokalitetima. Da

bi rezultati bili realniji potrebno je ponoviti istraživanje vjerojatnije kroz duži vremenski period. Također, u obzir treba uzeti da su mužjaci i ženke vrste *A. leptodactylus* najaktivniji u vrijeme parenja kada su u potrazi za partnerom (Souty-Grosset i sur., 2006). Budući da su uzorci za ovo istraživanje skupljeni krajem lipnja, a sezona parenja vrste *A. leptodactylus* odvija se u jesen, od listopada do prosinca, te su tih mjeseci jedinke najaktivnije (Holdich, 2002), vjerojatno je da bi broj ulovljenih jedinki u to vrijeme godine bio još veći. Osim navedenog da ulov može ovisiti o karakteristikama staništa i vremenu uzrokovanja, važno je napomenuti da ulov može ovisiti i o vrsti i dizajnu zamke te mamcu kojeg koristimo (Romaine, 1995).

Ulovljene jedinke vrste *A. leptodactylus* bile su ispod i iznad granica spolne zrelosti. Mužjaci i ženke ove vrste postaju spolno zreli pri 7,5 – 8,5 cm ukupne dužine tijela (Holdich, 2002). Ukupna dužina tijela najmanje ulovljene ženke na lokalitetu rijeke Mrežnice iznosi 61,83 mm, a najmanjeg mužjaka 68,30 mm, što znači da su obje ulovljene jedinke bile ispod granice spolne zrelosti. Ukupna dužina najmanjeg mužjaka na lokalitetu 1. dijela jezera Rakitje je 75,29 mm, a najmanje ženke 69,86 mm, što znači da je ulovljeni mužjak bio spolno zreli dok je ženka bila ispod granice spolne zrelosti. Ukupna dužina najmanjeg mužjaka na lokalitetu 2. dijela jezera Rakitje je 68,00 mm, a najmanje ženke 65,69 mm, što znači da su obje jedinke bile ispod granice spolne zrelosti. Najmanji mužjak ulovljen na lokalitetu Trećeg maksimirskog jezera ukupne je dužine 56,59 mm, a najmanja ženka 46,96 mm, što znači da su obje jedinke bile ispod granice spolne zrelosti. Veličina ulovljenih jedinki vjerojatno ovisi o načinu lova. Po vrijednostima TL jedinki po lokalitetima vidimo da su ipak većinom ulovljene veće životinje, što je bilo očekivano s obzirom da su u istraživanju korištene LiNi vrše (Westman i sur., 1978) koje imaju otvor promjera 6 cm (Hogger, 1988) te su predviđene za lov jedinki većih od 6 cm.

Analizom omjera spolova možemo dobiti dodatne podatke o istraživanim populacijama. Uvidom u omjer spolova možemo odrediti jesu li proučavane populacije stabilne, što je od velike važnosti. Stabilne populacije rakova, prema Maguire (2013), sastoje se od većeg broja manjih uzrasnih kategorija i podjednagog omjera mužjaka i ženki. Općenito, ukupni omjer spolova u populaciji uravnotežen je ukoliko omjer mužjaka naspram ženki iznosi približno 1:1 (Lewis, 2002). Također, omjer spolova u većini prirodnih populacija slatkovodnih rakova je blizu 1:1 (Mason, 1975). Na svim lokalitetima uhvaćen je skoro podjednak broj mužjaka i ženki vrste *A. leptodactylus* uz malu razliku u populaciji drugog dijela jezera Rakitje gdje je uhvaćeno 11 mužjaka i 37 ženki. Moguće promjene omjera mužjaka naspram ženki u ulovu, kako je dosadašnjim istraživanjima utvrđeno, posljedica su različite aktivnosti mužjaka i ženki koje ovise o godišnjem ciklusu. Ustanovljeno je kako su ženke slabije aktivne od jeseni do proljeća



kada nose jaja (Bubb i sur., 2004), dok su oba spola najaktivnija u jesen odnosno u doba parenja i u potrazi za partnerom (Souty-Grosset i sur., 2006). U populacijama Mrežnice, 1. dijela jezera Rakitje i Trećeg maksimirskog jezera ove vrste nije bilo statistički značajne razlike između broja ulovljenih mužjaka i ženki što ukazuje na ujednačen omjer spolova i na stabilnost tih populacija. Populacije vrste *A. leptodactylus* istraživane su krajem lipnja, u razdoblju nakon što su ženke otpustile mlade, odnosno kada su oba spola bila podjednako aktivna, što nam ide u prilog. Otpuštanje juvenilnih, ovisno o temperaturi, odvija se kod vrste *A. leptodactylus* krajem svibnja, iako se može produžiti do kraja lipnja (Holdich, 2002). Na lokalitetu 2. dijela jezera Rakitje zabilježen je neuravnoteženi omjer mužjaka i ženki, u prilog ženkama, što možemo pripisati uvjetima na staništu, vremenu uzrokovanja, kvaliteti vode, dubini vode te načinu postavljanja zamke. Za dobivanje pravog uvida u omjer spolova unutar promatranih populacija bilo bi poželjno pratiti populacije ove vrste barem godinu dana kako bi se prikupili i podaci o njihovom godišnjem ciklusu.

## 5.2. Morfometrijske značajke

Provedeno je istraživanje morfometrijskih značajki uskoškarih rakova, te je ustanovljeno kako je najdulji ulovljeni mužjak bio dug 137,90 mm (uhvaćen u Trećem maksimirskom jezeru), a najdulja uhvaćena ženka 119,94 mm (uhvaćena u 1. dijelu jezera Rakitje), što odgovara podacima iz literature o rasponu dužine uskoškarog raka. Jedinke uskoškarog raka mogu narasti do 30 cm ukupne duljine, ali prosječnih su duljina do 15 cm (Alekhnovich i sur., 1999).

Ovim su istraživanjem zabilježene značajne razlike između spolova u mjerenim morfometrijskim parametrima. Dobiveni rezultati t - testa za morfometrijske značajke mužjaka i ženki rakova vrste *A. leptodactylus*, koji su potvrdili da postoje statistički značajne razlike između spolova, bili su očekivani. Morfometrijske razlike mužjaka i ženki vjerojatno su posljedica alometrijskog rasta koji za posljedicu ima spolni dimorfizam, gdje nakon postizanja spolne zrelosti klijesta mužjaka i abdomen ženki rastu brže od ostalih dijelova tijela (Lowery, 1988; Grandjean i sur., 1997; Streissl i Hödl, 2002; Maguire i Klobučar, 2011). Shodno tome, mužjaci vrste *A. leptodactylus* imali su duža klijesta od ženki svoje vrste, dok su ženke imale duži i širi abdomen. Time smo potvrdili postojanje spolnog dimorfizma kod rakova ove vrste i prvu postavljenu hipotezu postavljenu u poglavlju Ciljevi istraživanja. U prosjeku su ulovljene ženke bile veće u ukupnoj dužini tijela, što nije bilo u skladu s očekivanjima da su mužjaci veći

jer rastom tijela i postizanjem spolne zrelosti spolni dimorfizam u rakova postaje sve izraženiji kao posljedica alometrijskog rasta (Skurdal i Taugbøl, 2002). No, kako su ulovljene i manje jedinke koje još nisu spolno zrele, zabilježeni rezultat možemo pripisati tome. Zato smo sve parametre promatrali zasebno i sve analize provodili posebno za mužjake i za ženke.

Razlike u morfologiji rakova ne moraju biti samo na razini vrste i spola već i između populacija iste vrste na različitim staništima, koje su rezultat prilagodbi na uvjete u okolišu (Souty-Grosset, 2000; Sint i sur., 2006). Uključivanjem velikog broja mjerenih morfometrijskih značajki na velikom uzorku, morfometrijska analiza postala je široko korišten i pouzdan alat u usporedbama populacija i utvrđivanju značajnih razlika između njih (Sint i sur., 2005; Maguire i Dakić, 2011; Mijošek i sur., 2017; Maguire i sur., 2017). Stoga je nakon usporedbe spolova rađena usporedba populacija između istraživanih lokaliteta. Provedena analiza varijanci (ANOVA), odvojeno za mužjake i ženke, pokazala je kako među istraživanim populacijama postoje statistički značajne razlika u većini mjerenih morfometrijskih karakteristika među populacijama mužjaka i među populacijama ženki. Time je dokazana druga hipoteza postavljena u poglavlju Ciljevi istraživanja. Dokazano je da postoje veće razlike između ženki ispitivanih populacija nego između mužjaka, što se ne slaže s prethodnim istraživanjima provedenih od strane Sint i sur. (2005, 2007) u kojima su dobiveni rezultati da se mužjaci razlikuju u više morfometrijskih značajki od ženki. U ovom istraživanju ženke su se značajno razlikovale u 23 morfometrijske značajke od ukupno 25 mjerenih morfometrijskih značajki, dok su se mužjaci razlikovali u 21 morfometrijskoj značajki od mjerenih 25 ukupno. Mužjaci se nisu značajno razlikovali među populacijama samo u 4 mjerene morfometrijske značajke (Prilog 10.), a ženke u samo dvije morfometrijske značajke (Prilog 11.). Najmanje p-vrijednosti u analizi mužjaka dobivene su za 8 morfometrijskih karakteristika: HEL, ARL, CFL, ABH, ROW, CGW, APL i APW; što ih čini statistički najznačajnijima u razlikovanju mužjaka ovih populacija. Najmanje p-vrijednosti u analizi ženki dobivene su za 15 morfometrijskih karakteristika: HEL, ARL, TEL, ABH, ROW, CGW, CEW, ABW, CEF, APL i za sve mjere kliješta; što ih čini statistički najznačajnijima u razlikovanju ženki ovih populacija. Uz ANOVU proveden je post-hoc test, zasebno za svaki spol, koji je pokazao u kojim se morfometrijskim značajkama koja populacija razlikuje od koje. Među populacijama ženki, populacije koje se razlikuju u najvećem broju mjerenih morfometrijskih značajki su Treće maksimirsko jezero i 2. dio jezera Rakitje, u 20 morfometrijskih značajki. Između populacija ženki 1. i 2. dijela jezera Rakitje nije bilo razlika u mjerenim morfometrijskim značajkama. Među populacijama mužjaka, populacije koje se razlikuju u najvećem broju mjerenih morfometrijskih značajki su

rijeka Mrežnica i Treće maksimirsko jezero. Najmanja razlika u broju mjerenih morfometrijskih značajki među populacijama ženki je između 1. i 2. dijela jezera Rakitje, u samo jednoj značajki – CPH. Naposljetku, multiplom diskriminativnom analizom utvrdili smo koje morfometrijske značajke najviše pridonose razdvajanju mužjaka (Prilog 12.), odnosno ženki (Prilog 13.), proučavanih populacija. Također, grafičkim prikazom kanoničke diskriminativne analize vidljivo je da se u slučaju oba spola, populacija Trećeg maksimirskog jezera najviše izdvaja, Mrežnica nešto manje, a između populacija 1. i 2. dijela jezera ima najvećeg preklapanja. Dakle, potvrđena je treća hipoteza, postavljena u poglavlju Ciljevi istraživanja, da je intraspecijska divergencija među različitim populacijama vidljiva i u morfometrijskim značajkama. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da razlike u morfometrijskim karakteristikama između populacija, jednako za mužjake i za ženke, reflektiraju geografsku udaljenost, što je slično rezultatima koje su dobili Sint i sur. (2005). Diskriminativna analiza je pokazala dobru razdvojenost između geografski udaljenijih populacija Mrežnice i Trećeg maksimirskog jezera i slabu diskriminaciju između geografski jako bliskih populacija 1. dijela jezera Rakitje i 2. dijela jezera Rakitje.

Dobiveni su visoki postoci točno klasificiranih jedinki te su viši postoci dobiveni za točno klasificirane mužjake, što opet odstupa od rezultata istraživanja provedenog od strane Sint i sur. (2005) gdje su dobiveni viši postoci točno klasificiranih ženki naspram mužjaka. Usporedbom postotaka točno klasificiranih jedinki po lokalitetima s geografskim razdvajanjem, vidljivo je da su skupine s većom geografskom udaljenosti, Mrežnica i Treće maksimirsko jezero, pokazivale veće postotke ispravne klasifikacije. Zabilježene razlike u morfometrijskim značajkama mogu biti posljedicom razlika u genomu. Genetska istraživanja provedena na populacijama slatkovodnih rakova podrijetlom iz geografski različitih lokacija pokazuju korelaciju između matrica zemljopisne i genetske udaljenosti (Gouin i sur., 2001; Schulz i sur., 2004). Isto tako, prethodna molekularno-filogenetska istraživanja pokazala su da unutar vrste *A. leptodactylus* postoje dvije jasno odvojene linije, jedna koja je prisutna u azijskom dijelu areala i druga koja je zabilježena u Europi (Maguire i sur., 2014). Nadalje, preliminarna molekularna analiza uzoraka uskoškarih rakova iz Trećeg maksimirskog jezera (Maguire i sur., 2017, neobjavljeni podaci) pokazuje njihovu filogenetsku povezanost s azijskom linijom, što govori u prilog pretpostavke o namjernom unosu rakova ove vrste iz neke „azijske populacije“. Vrlo vjerojatno se radi o unosu rakova pribavljenih s tržnice u nedavnoj prošlosti kada je bilo moguće uvesti rakove iz uzgoja (Armenija) zbog prodaje u konzumne svrhe (Maguire, 2017, neobjavljeni podaci). Stoga možemo pretpostaviti da su dobiveni rezultati (značajna razlika u morfometrijskim značajkama mužjaka i ženki Trećeg maksimirskog jezera od ostalih

populacija) posljedica razlike u njihovom genomu. No, varijacije u morfometriji između različitih populacija iste vrste mogu biti i posljedica smanjene genetske varijabilnosti unutar populacije uzrokovane događajima kao što je efekt uskog grla koji nastaje zbog fragmentacije staništa, bolesti ili zagađenja (Saccheri, Nichols & Brakefield, 2006). Isto tako, budući da su sva četiri staništa svih četiriju lokaliteta različita, može se pretpostaviti da su morfometrijske razlike zabilježene među populacijama mogle nastati i zbog prilagodbe rakova specifičnim lokalnim stanišnim i ekološkim uvjetima, kao što je nedavno utvrđeno u istraživanjima Mijošek i sur. (2017). Da bi se u potpunosti rasvijetlio uzrok zabilježenih morfometrijskih razlika, potrebno je provesti daljnja istraživanja i analize s mjerenim morfometrijskim obilježjima u kombinaciji s molekulskim markerima četiriju ispitivanih populacija.

## 6. ZAKLJUČAK

Ovim istraživanjem utvrdili smo da tri od četiri istraživane populacije imaju relativno ujednačen omjer spolova koji se približava vrijednosti 1:1, što ukazuje na to da su populacije uskoškarih rakova rijeke Mrežnice, 1. dijela jezera Rakitje i Trećeg maksimirskog jezera stabilne populacije. Samo kod 2. dijela jezera Rakitje zabilježena je statistički značajna razlika u brojnosti mužjaka i ženki *A. leptodactylus*.

Statističkom analizom morfometrijskih značajki utvrđeno je da postoje značajne razlike između spolova, čime smo potvrdili postojanje spolnog dimorfizma kod uskoškarih rakova.

Potvrđeno je kako među istraživanim populacijama postoje statistički značajne razlike u većini mjerenih morfometrijskih karakteristika među populacijama mužjaka i među populacijama ženki.

Također, potvrdili smo molekularno - filogenetska istraživanja da u morfometrijskim značajkama rakova *A. leptodactylus* postoji intraspecijska divergencija među različitim populacijama.

Razlike u morfometrijskim značajkama između populacijama uskoškarih rakova najvjerojatnije su posljedica kombinacije genetičkih i okolišnih mehanizama.

Ovim radom potvrđeno je da su morfometrijske analize kombinirane s multivarijantnim statističkim metodama korisne u razlikovanju i razdvajanju populacija rakova, čak i na malim geografskim mjerilima, kao što je područje sjeverozapadne Hrvatske.

## 7. LITERATURA

1. Alekhnovich A., Kulesh V., Ablov S. (1999): Growth and size structure of narrow-clawed crayfish *Astacus leptodactylus* Esch. in its eastern area. *Freshwater Crayfish*, 12:550–554.
2. Brusca, R.C., Brusca, G. J. (2003): *Invertebrates*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts
3. Bubb D. H., Thom T. J., Lucas M. C. (2006): Movement, dispersal and refuge use of co-occurring introduced and native crayfish. *Freshwater Biology*, 51: 1359-1368.
4. Chambers, C.L., Payne, J.F., Kennedy, M.L. (1979): Geographic variation in the dwarf crayfish, *Cambarellus puer* Hobbs (Decapoda: Cambaridae). *Crustaceana* 36, 39–55.
5. Crandall, K.A., Buhay, J.E. (2008): Global diversity of crayfish (Astacidae, Cambaridae and Parastacidae – Decapoda) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 295-301.
6. Crandall K.A., Harris D.J., Fetzner J.W., (2000): The monophyletic origin of freshwater crayfish estimated from nuclear and mitochondrial DNA sequences. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 267, 1679-1686.
7. Cukerzis J. (1988): *Astacus astacus* in Europe. U: D.M. Holdich i R.S. Lowery (eds) *Freshwater crayfish: biology, managment and exploitation*: 309-340 pp. London: Croom Helm (Chapman i Hall)
8. Gouin, N., Grandjean, F., Bouchon, D., Reynolds, J.D., Souty-Grosset, C. (2001): Population genetic structure of the endangered freshwater crayfish *Austropotamobius pallipes*, assessed using RAPD markers. *Heredity* 87, 80–87.
9. Grandjean F., Romain D., Avila-Zarza C., Bramard M., Souty-Grosset C., Mocquard J.P. (1997): Morphometry, sexual dimorphism and size at maturity of the white-clawed crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) from a wild French population at Deux-S`evres (Decapoda: Astacidea). *Crustaceana* 70 (1): 31–44.

10. Hogger, J. B. (1988): Ecology, population biology and behaviour. U: Holdich D. M. i Lowery R. S. (ur.) Freshwater crayfish: Biology, Management and Exploitation. The University Press, Cambridge, 114–144.
11. Holdich, D.M., Lowery, R.S. (1988): Freshwater crayfish - biology, management and exploitation. University Press, Cambridge, 498
12. Holdich, D.M. (2002): Biology of Freshwater Crayfish. Blackwell Science, Oxford, 720.
13. Holdich D. M., Reynolds J. D., Souty-Grosset C., Sibley P. J. (2009): A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 394-395, art. no. 11.
14. Hudina, S., Hock, K., Radović, A., Klobučar, G., Petković, J., Jelić, M., Maguire, I. (2016): Species-specific differences in dynamics of agonistic interactions may contribute to the competitive advantage of the invasive signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) over the native narrow-clawed crayfish (*Astacus leptodactylus*). Marine and Freshwater Behaviour and Physiology, 49 (3), 147-157.
15. International Union for Conservation of Nature. Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/details/153745/0>, pristupljeno: 10. svibnja 2017.
16. Kouba, A., Petrusek, A., Kozák, P. (2014): Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps, Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 401, 31.
17. Lewis, S. (2002): *Pacifastacus*. U: Holdich, D. (ur.) Biology of Freshwater Crayfish, Blackwell Science, London, str. 511-534.
18. Longshaw, M., Stebbing, P. (2016): Biology and Ecology of crayfish, CRC Press

19. Lowery, R. S. (1988): Growth, moulting and reproduction. U: Holdich D. M. i Lowerry R. S. (ur.) *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*. Croom Helm, London, 83113.
20. Maguire, I. (2002): Porodica Astacidae u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, 1-128
21. Maguire, I. (2013): Plemeniti ili riječni rak (*Astacus astacus*). Nacionalni programi za praćenje stanja očuvanosti vrsta u Hrvatskoj, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 22.
22. Maguire, I., Dakić, L. (2011) Comparative analyses of *Astacus leptodactylus* morphological characteristics from Croatia and Armenia. *Biologia* 66 (3), 491-498.
23. Maguire, I., Gottstein-Matočec, S. (2004): The distribution pattern of freshwater crayfish in Croatia. *Crustaceana*, 77 (1), 25-49.
24. Maguire, I., Jelić, M., Klobučar, G. (2011): Update on the distribution of freshwater crayfish in Croatia. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 401, 31-41.
25. Maguire I, Marn N, Klobučar G. (2017): Morphological evidence for hidden diversity in the threatened stone crayfish *Austropotamobius torrentium* (Schrank, 1803) (Decapoda: Astacoidea: Astacidae) in Croatia. *Journal of Crustacean Biology* 37(1): 7-15.
26. Maguire I, Podnar M, Jelić M, Štambuk A, Schrimpf A, Schulz H, Klobučar G. (2014): Two distinct evolutionary lineages of the *Astacus leptodactylus* species-complex (Decapoda: Astacidae) inferred by phylogenetic analyses. *Invertebrate Systematics* 28 (2): 117-123.
27. Maguire, I. (2010): Slatkovodni rakovi, Priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, 44.



28. Mijošek T, Jelić M, Mijošek V, Maguire I (2017): Molecular and morphometric characterisation of the invasive signal crayfish populations in Croatia. *Limnologia* 63: 107-118.
29. Mason, J.C. (1975): Crayfish production in a small woodland stream. *Freshwater crayfish*, 2: 449-479.
30. Romaine, R.P. (1995): Harvesting methods and strategies used commercial procambarid crawfish aquaculture. *Journal of Shellfish Research*, 14: 545-551.
31. Saccheri, I.J., Nichols, R.A., Brakefield, P.M. (2006): Morphological differentiation following experimental bottlenecks in the butterfly *Bicyclus anynana* (Nymphalidae). *Biol. J. Linn. Soc.* 89, 107–115.
32. Samardžić M, Lucić A, Maguire I, Hudina S. (2014): The First Record of the Marbled Crayfish (*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginialis*) in Croatia. *Crayfish News* 36, 4: 4-4.
33. Schulz, R., Schulz, H.K. (2004): Threats to indigenous crayfish populations – studies on a landscape level. In *European native crayfish with a special focus on *Astacus astacus*: linking socioeconomics and conservation*, CRAYNET, Vol 2. Taugbol, T. and Souty-Grosset, C. (Eds). *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 372–373, 449–456.
34. Sint, D., Dalla Via, J. & Füreder, L. (2005): Morphological variations in *Astacus astacus* L. and *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) populations. In: *European native crayfish in relation to land-use and habitat deterioration with a special focus on *Austropotamobius torrentium**, CRAYNET, Vol 4. Füreder, L. and Souty Grosset, C. (Eds). *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 376–377, 637–652.
35. Sint D., Dalla Via J., Füreder L. (2006): The genus *Austropotamobius* in the Ausserfern region (Tyrol, Austria) with an overlap in the distribution of *A. torrentium* and *A. pallipes* populations. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 380 – 381:1029–1040.

36. Sint D., Dalla Via J., Füreder L. (2007): Phenotypical characterization of indigenous freshwater crayfish populations. J.Zool. 273: 210–219.
37. Skurdal, J., Taugbøl, T. (2002): *Astacus*. U: Holdich, D.M. (ur.) Biology of freshwater crayfish. Blackwell Science, Oxford, 467-510.
38. Souty-Grosset C., Holdich D.M., Noel P. Y., Reynolds J.D., Haffner P. (2006): Atlas of crayfish in Europe, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris
39. Streissl, F., Hödl, W. (2002): Growth, morphometrics, size at maturity, sexual dimorphism and condition index of *Austropotamobius torrentium* Schrank. Hydrobiologia, 477, 201-208.
40. Westman K. (1991) The crayfish fishery in Finland - its past, present and future. Finnish Fisheries Research 12: 187-216.
41. Westman, K., Pursiainen, M., Vilkman, R. (1978): A new folding trap model which prevents crayfish from escaping. Freshwater Crayfish, 4, 235–242.

## 8. PRILOZI:

1. Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija morfometrijskih značajki vrste *Astacus leptodactylus* za lokalitet Mrežnica
2. Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija morfometrijskih značajki vrste *Astacus leptodactylus* za lokalitet Rakitje - 1. dio jezera
3. Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija morfometrijskih značajki vrste *Astacus leptodactylus* za lokalitet Rakitje - 2. dio jezera
4. Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija morfometrijskih značajki vrste *Astacus leptodactylus* za lokalitet Treće maksimirsko jezero
5. Rezultati t-testa za sve lokalitete zajedno - crveno su označeni podaci koji se razlikuju.
6. Rezultati t-testa za populaciju rijeke Mrežnice - crveno su označeni podaci koji se razlikuju.
7. Rezultati t-testa za populaciju jezera Rakitje (1. dio jezera) - crveno su označeni podaci koji se razlikuju.
8. Rezultati t-testa za populaciju jezera Rakitje (2. dio jezera) - crveno su označeni podaci koji se razlikuju.
9. Rezultati t-testa za populaciju Trećeg maksimirskog jezera - crveno su označeni podaci koji se razlikuju
10. Analiza varijance za mužjake; mjerene morfometrijske značajke koje se značajno razlikuju označene su crvenom bojom ( $p < 0,05$ ).
11. Analiza varijance za ženke; mjerene morfometrijske značajke koje se značajno razlikuju označene su crvenom bojom ( $p < 0,05$ ).

**12.** Rezultati diskriminativne analize za mužjake

**13.** Rezultati diskriminativne analize za ženke

**Prilog 1.** Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija  
morfometrijskih značajki vrste *Astacus leptodactylus* za lokalitet Mrežnica

spol morfometrijske značajke	Mužjaci (42 jedinke)				Ženke (41 jedinka)			
	SV	Min.	Max.	SD	SV	Min.	Max.	SD
TL	103,31	68,30	127,32	13,64	95,59	61,83	117,36	9,10
ROL	14,83	7,78	20,41	2,37	13,56	9,69	17,01	1,51
HEL	19,57	13,13	26,04	3,45	16,14	10,87	21,17	2,22
ARL	17,76	13,13	25,29	2,61	15,40	9,92	19,08	1,66
ABL	32,67	20,37	51,18	6,99	34,58	21,18	47,99	5,78
TEL	14,79	10,64	33,21	3,45	13,84	9,78	18,15	1,65
CLL	44,24	20,11	71,63	12,49	29,77	18,60	39,63	4,21
CFL	27,33	9,68	45,82	8,53	18,15	10,96	24,63	2,89
CPL	14,09	4,83	22,36	3,74	10,37	6,73	14,14	1,49
CLH	10,23	4,25	21,48	4,80	5,89	3,36	13,66	2,16
CLW	11,42	5,35	34,33	5,12	10,17	5,36	14,97	1,94
CPH	23,97	17,11	31,88	3,59	20,92	13,32	27,08	2,50
ABH	12,93	9,58	17,24	1,78	12,14	7,52	19,59	1,98
HEW	15,71	12,22	20,50	2,20	13,72	9,55	17,32	1,68
ROW	8,47	5,73	12,68	1,52	8,54	6,05	10,04	0,99
CGW	21,88	15,9	28,16	3,23	18,44	12,70	24,75	2,34
CPW	27,57	19,71	36,31	4,24	23,77	15,35	30,94	2,80
ARW	6,31	3,17	9,72	1,36	5,59	4,01	7,88	0,81
CEW	19,65	13,55	29,68	3,65	17,27	11,02	25,39	2,41
ABW	22,39	15,28	34,07	3,71	25,77	14,12	33,54	3,57
TEW	12,23	9,15	16,43	1,57	11,50	7,71	14,85	1,46
CEF	43,30	31,85	54,99	6,03	36,76	24,91	46,24	4,18
APL	7,25	5,46	9,31	1,13	7,07	4,45	9,42	1,11
APW	2,09	0,46	4,18	0,88	2,11	0,66	3,48	0,74
Kut $\alpha$	1,57	1,39	1,77	0,08	1,55	1,43	1,66	0,05

**Prilog 2.** Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija  
morfometrijskih značajki vrste *Astacus leptodactylus* za lokalitet Rakitje - 1. dio jezera

spol morfometrijske značajke	Mužjaci (8 jedinki)				Ženke (12 jedinki)			
	SV	Min.	Max.	SD	SV	Min.	Max.	SD
TL	89,28	75,29	114,49	16,13	93,44	69,86	119,94	16,30
ROL	13,50	10,82	16,77	1,98	13,06	9,83	17,77	2,69
HEL	16,24	13,06	22,12	3,73	15,96	11,97	21,27	2,10
ARL	14,60	11,94	18,21	2,54	15,38	11,50	21,17	3,17
ABL	31,60	26,19	40,24	5,36	33,79	25,95	41,15	5,04
TEL	12,62	9,85	16,04	2,30	14,26	10,45	19,70	2,82
CLL	35,44	25,76	50,51	9,48	33,47	22,37	46,42	8,29
CFL	22,36	15,48	34,51	7,47	19,75	13,11	27,08	5,07
CPL	12,53	9,66	18,83	3,14	12,05	8,75	16,40	2,54
CLH	7,08	5,3	11,49	2,02	6,62	4,87	8,79	1,39
CLW	13,12	9,96	20,40	3,52	13,02	9,51	17,01	2,71
CPH	21,41	17,13	29,45	5,07	21,56	16,02	26,94	4,12
ABH	11,80	9,53	15,58	2,29	11,93	8,54	15,02	2,09
HEW	13,37	11,01	17,31	2,56	13,74	10,38	17,38	2,51
ROW	7,55	5,77	10,92	2,15	7,86	5,23	10,76	1,85
CGW	18,02	14,06	24,87	4,40	18,12	13,67	22,41	3,10
CPW	22,50	18,34	30,16	4,75	23,06	17,67	29,75	4,04

ARW	5,29	4,08	8,22	1,36	5,25	3,33	6,82	1,22
CEW	16,46	13,88	20,90	2,92	17,11	13,43	22,04	2,84
ABW	19,42	15,96	26,58	4,14	23,15	16,08	30,17	4,94
TEW	11,05	9,05	14,69	2,26	11,80	9,07	14,77	2,13
CEF	37,22	29,09	49,9	7,83	36,77	27,00	47,57	6,83
APL	7,28	6,20	8,39	0,88	7,43	5,37	9,78	1,38
APW	2,28	1,89	3,08	0,40	2,73	1,74	3,45	0,57
Kut $\alpha$	1,60	1,54	1,66	0,04	1,59	1,46	1,66	0,05

**Prilog 3.** Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija morfolometrijskih značajki vrste *Astacus leptodactylus* za lokalitet Rakitje - 2. dio jezera

spol	Mužjaci (11 jedinki)				Ženke (37 jedinki)			
morfometrijske značajke	SV	Min.	Max.	SD	SV	Min.	Max.	SD
TL	78,77	68,00	96,09	8,59	84,33	65,69	110,46	12,11
ROL	11,91	9,34	14,21	1,54	12,27	9,59	16,03	1,80
HEL	13,85	12,72	17,42	1,55	14,12	9,97	19,15	2,29
ARL	13,47	11,17	17,88	1,97	13,94	11,05	18,59	2,16
ABL	27,55	21,72	32,12	3,04	30,81	23,72	42,01	4,42
TEL	11,88	10,23	14,90	1,68	12,89	9,34	16,85	2,21
CLL	29,46	23,93	47,21	6,63	29,10	20,41	43,93	6,16
CFL	17,78	13,88	29,26	4,31	17,52	12,41	26,67	3,81
CPL	11,03	8,44	15,43	1,88	10,76	7,36	15,14	2,01
CLH	5,85	4,06	8,27	1,16	5,96	4,00	9,60	1,20
CLW	10,84	9,06	15,14	1,72	11,32	7,76	16,59	2,23
CPH	17,85	14,46	22,13	2,36	18,92	6,73	24,45	3,51
ABH	9,66	6,85	12,41	1,46	10,85	7,63	13,40	1,57
HEW	11,82	10,26	14,78	1,49	12,46	9,70	16,35	1,83
ROW	5,92	4,59	7,78	0,87	6,78	5,15	8,60	0,90
CGW	15,47	13,19	19,70	1,89	16,41	12,76	22,07	2,34
CPW	19,47	15,61	24,32	2,64	20,66	16,25	26,83	3,13
ARW	4,61	3,52	5,72	0,62	5,25	4,10	7,44	0,77
CEW	14,58	11,64	17,08	1,65	15,58	12,61	20,11	2,22
ABW	16,60	13,73	20,55	1,83	19,79	15,45	26,28	3,55
TEW	9,80	8,71	11,86	1,06	10,68	8,62	14,37	1,64
CEF	31,10	26,93	38,42	3,78	32,93	25,45	43,81	4,94
APL	7,16	5,61	8,69	0,94	7,19	5,66	9,50	0,97
APW	2,37	2,02	2,82	0,26	2,41	1,46	3,53	0,50
Kut $\alpha$	1,63	1,58	1,78	0,06	1,60	1,42	1,74	0,06

**Prilog 4.** Srednje vrijednosti, minimuma, maksimuma i standardnih devijacija  
morfometrijskih značajki vrste *Astacus leptodactylus* za lokalitet Treće maksimirsko jezero

spol	Mužjaci (30 jedinki)				Ženke (33 jedinke)			
morfometrijske značajke	SV	Min.	Max.	SD	SV	Min.	Max.	St.dev.
TL	84,09	56,59	137,90	17,45	78,73	46,96	102,22	12,51
ROL	12,09	7,03	22,53	2,95	11,53	7,43	15,19	1,75
HEL	17,28	11,47	28,96	3,81	15,61	9,33	20,36	2,54
ARL	13,90	9,39	22,55	3,11	12,55	7,53	16,30	1,97
ABL	30,65	20,69	48,33	6,28	29,60	16,44	37,68	4,99
TEL	11,27	7,56	18,05	2,33	10,57	6,20	13,68	1,81
CLL	29,31	16,23	81,13	12,65	21,74	11,65	29,27	4,08
CFL	16,63	9,21	36,29	6,45	12,94	6,72	18,15	2,82
CPL	10,61	4,24	27,16	4,45	8,29	4,95	10,60	1,51
CLH	6,03	3,33	12,90	2,07	4,77	2,72	6,61	0,91
CLW	11,35	5,02	27,70	4,38	9,44	5,41	12,54	1,70
CPH	20,39	13,10	33,83	4,57	18,43	11,41	23,77	2,75
ABH	13,26	8,47	22,62	3,18	12,80	6,59	16,23	2,52
HEW	12,95	8,21	22,65	2,98	11,88	7,41	15,53	1,80
ROW	5,30	3,75	9,59	1,16	4,90	3,10	6,51	0,76
CGW	16,72	10,78	27,16	3,59	15,38	9,39	20,32	2,39
CPW	22,45	10,08	39,97	5,86	20,17	12,13	26,62	3,44
ARW	4,79	2,85	7,80	1,10	4,59	2,00	6,30	0,86
CEW	18,13	12,22	27,63	3,56	17,12	10,01	22,53	2,73
ABW	19,01	12,58	30,43	3,98	18,50	10,22	25,52	3,27
TEW	10,86	7,38	17,35	2,23	10,44	6,22	14,68	1,84
CEF	34,40	22,10	58,42	7,68	31,26	18,42	40,68	4,85
APL	5,18	3,54	8,47	1,20	5,06	3,08	6,48	0,93
APW	2,58	1,48	4,54	0,67	2,41	1,72	3,36	0,42
Kut $\alpha$	1,65	1,50	2,40	0,15	1,66	1,52	2,21	0,11

**Prilog 5.** Rezultati t-testa za sve lokalitete zajedno - crveno su označeni podaci koji se razlikuju.

značajke	SV (m)	SV (f)	t	SS	p	v. N (m)	v. N (f)	SD (m)	SD (f)	F (odnos var.)	p var.
TL	2,779376	2,941605	-4,5284	212	0,000010	91	123	0,154048	0,314868	4,177760	0,000000
ROL	0,403820	0,424397	-2,9461	212	0,003578	91	123	0,045483	0,053921	1,405440	0,089244
HEL	0,531641	0,519997	3,2291	212	0,001439	91	123	0,026408	0,025834	1,044952	0,815475
ARL	0,468359	0,480003	-3,2291	212	0,001439	91	123	0,026408	0,025834	1,044952	0,815475
ABL	0,948610	1,088604	-7,0747	212	0,000000	91	123	0,155645	0,133107	1,367314	0,107945
TEL	0,393589	0,429554	-4,2515	212	0,000032	91	123	0,080785	0,041109	3,861807	0,000000
CLL	1,031143	0,916963	3,3976	212	0,000812	91	123	0,298560	0,192071	2,416233	0,000006
CFL	0,612296	0,551542	2,5989	212	0,010008	91	123	0,217497	0,121532	3,202773	0,000000
CPL	0,351873	0,336760	1,3617	212	0,174741	91	123	0,098653	0,063375	2,423172	0,000006
CLH	0,224237	0,188382	3,7669	212	0,000214	91	123	0,093180	0,042768	4,746911	0,000000
CLW	0,331046	0,354188	-1,6084	212	0,109246	91	123	0,137199	0,070224	3,817114	0,000000
CPH	0,651993	0,667071	-2,6722	212	0,008120	91	123	0,030071	0,047185	2,462204	0,000011
ABH	0,377705	0,403644	-3,9970	212	0,000089	91	123	0,050017	0,044525	1,261891	0,231530
HEW	0,422476	0,435346	-3,9088	212	0,000125	91	123	0,026816	0,021327	1,581003	0,018663

ROW	0,210159	0,235657	-4,0955	212	0,000060	91	123	0,043185	0,046339	1,151391	0,482082
CGW	0,567741	0,574717	-1,5179	212	0,130539	91	123	0,034307	0,032426	1,119404	0,559209
CPW	0,726965	0,737523	-1,7836	212	0,075919	91	123	0,045684	0,040557	1,268772	0,220851
ARW	0,164305	0,176806	-3,5200	212	0,000528	91	123	0,021804	0,028206	1,673447	0,010545
CEW	0,547201	0,566702	-3,2408	212	0,001384	91	123	0,048560	0,039389	1,519851	0,031565
ABW	0,608765	0,731740	-12,5151	212	0,000000	91	123	0,055078	0,080856	2,155081	0,000162
TEW	0,342334	0,372387	-10,3087	212	0,000000	91	123	0,022266	0,020169	1,218817	0,308348
CEF	1,144714	1,155325	-1,2793	212	0,202193	91	123	0,069578	0,051783	1,805360	0,002428
APL	0,162593	0,219120	-5,5545	212	0,000000	91	123	0,090681	0,057853	2,456820	0,000004
APW	0,060389	0,077970	-4,3623	212	0,000020	91	123	0,035710	0,023141	2,381288	0,000009
Kut $\alpha$	1,606150	1,600739	0,4034	212	0,687096	91	123	0,111251	0,085004	1,712894	0,005729

**Prilog 6.** Rezultati t-testa za populaciju rijeke Mrežnice - crveno su označeni podaci koji se razlikuju.

značajke	SV (m)	SV (f)	t	SS	p	v. N (m)	v. N (f)	SD (m)	SD (f)	F (odnos var.)	P var.
TL	2,779935	3,037523	-7,2404	81	0,000000	42	41	0,175966	0,146411	1,44447	0,247080
ROL	0,398917	0,431871	-3,7498	81	0,000331	42	41	0,042716	0,037075	1,32747	0,372143
HEL	0,522947	0,511066	2,3303	81	0,022276	42	41	0,026486	0,019313	1,88083	0,047970
ARL	0,477053	0,488934	-2,3303	81	0,022276	42	41	0,026486	0,019313	1,88083	0,047970
ABL	0,889027	1,106208	-4,8810	81	0,000005	42	41	0,203793	0,201518	1,02271	0,944436
TEL	0,401526	0,439471	-2,1198	81	0,037087	42	41	0,112256	0,023349	23,11369	0,000000
CLL	1,168416	0,942969	7,1427	81	0,000000	42	41	0,191429	0,065521	8,53615	0,000000
CFL	0,719674	0,574327	6,2524	81	0,000000	42	41	0,139338	0,052943	6,92660	0,000000
CPL	0,374065	0,329072	4,2433	81	0,000058	42	41	0,061624	0,028826	4,57004	0,000004
CLH	0,267412	0,183860	4,7657	81	0,000008	42	41	0,101824	0,047814	4,53514	0,000005
CLW	0,310830	0,324540	-0,5381	81	0,591963	42	41	0,153959	0,054521	7,97413	0,000000
CPH	0,643203	0,663935	-3,1135	81	0,002556	42	41	0,030352	0,030306	1,00305	0,993343
ABH	0,348381	0,384611	-5,0167	81	0,000003	42	41	0,029930	0,035679	1,42106	0,266795
HEW	0,422342	0,435257	-2,5296	81	0,013358	42	41	0,026443	0,019453	1,84775	0,054484
ROW	0,230496	0,272287	-5,1256	81	0,000002	42	41	0,045182	0,026464	2,91475	0,000969
CGW	0,587422	0,584611	0,4616	81	0,645609	42	41	0,029823	0,025442	1,37402	0,316964
CPW	0,739421	0,754137	-1,8601	81	0,066500	42	41	0,039137	0,032550	1,44570	0,245995
ARW	0,168613	0,178423	-1,8304	81	0,070865	42	41	0,023644	0,025176	1,13382	0,690326
CEW	0,525858	0,547080	-2,3656	81	0,020388	42	41	0,048160	0,031686	2,31013	0,009185
ABW	0,603015	0,816601	-14,1758	81	0,000000	42	41	0,074600	0,061912	1,45189	0,240593
TEW	0,329587	0,364437	-8,3160	81	0,000000	42	41	0,021538	0,016198	1,76807	0,073966
CEF	1,163048	1,166775	-0,3694	81	0,712802	42	41	0,048858	0,042777	1,30450	0,402257
APL	0,117811	0,211447	-4,8181	81	0,000007	42	41	0,105693	0,066464	2,52885	0,004011
APW	0,034050	0,062462	-4,1091	81	0,000094	42	41	0,035549	0,026706	1,77184	0,072907
Kut $\alpha$	1,568409	1,555989	0,8341	81	0,406653	42	41	0,078963	0,054065	2,13316	0,018116



**Prilog 7.** Rezultati t-testa za populaciju jezera Rakitje (1. dio jezera) - crveno su označeni podaci koji se razlikuju.

značajke	SV (m)	SV (f)	t	SS	p	v. N (m)	v. N (f)	SD (m)	SD (f)	F (omjer var.)	p var.
TL	2,903814	2,997276	-1,11515	18	0,279452	8	12	0,096987	0,221779	5,228913	0,037605
ROL	0,443789	0,417234	1,30037	18	0,209878	8	12	0,058297	0,033356	3,054517	0,095956
HEL	0,524541	0,510091	1,83376	18	0,083278	8	12	0,023426	0,011767	3,963108	0,041888
ARL	0,475459	0,489909	-1,83376	18	0,083278	8	12	0,023426	0,011767	3,963108	0,041888
ABL	1,029940	1,088032	-1,95387	18	0,066435	8	12	0,053954	0,071350	1,748781	0,469686
TEL	0,410418	0,455649	-3,55327	18	0,002271	8	12	0,020188	0,031833	2,486445	0,236237
CLL	1,136570	1,060558	1,57514	18	0,132638	8	12	0,088420	0,115398	1,703320	0,491732
CFL	0,715375	0,626169	1,71187	18	0,104096	8	12	0,153464	0,079635	3,713645	0,052023
CPL	0,403812	0,383975	1,47360	18	0,157862	8	12	0,033013	0,027013	1,493532	0,529796
CLH	0,227383	0,210850	1,92200	18	0,070581	8	12	0,025347	0,013129	3,727298	0,051399
CLW	0,421989	0,414730	0,49920	18	0,623686	8	12	0,039529	0,025820	2,343808	0,199514
CPH	0,690089	0,688620	0,10484	18	0,917663	8	12	0,024816	0,033898	1,865861	0,418139
ABH	0,382875	0,382486	0,03944	18	0,968977	8	12	0,014829	0,024988	2,839292	0,176273
HEW	0,434201	0,439643	-0,68681	18	0,500954	8	12	0,011961	0,020053	2,810985	0,180322
ROW	0,241837	0,250224	-0,67400	18	0,508876	8	12	0,027078	0,027378	1,022240	1,000000
CGW	0,580557	0,580692	-0,01084	18	0,991469	8	12	0,030729	0,025092	1,499824	0,525811
CPW	0,728348	0,738678	-0,76304	18	0,455327	8	12	0,019772	0,034507	3,045976	0,149925
ARW	0,170768	0,167211	0,42832	18	0,673497	8	12	0,016851	0,018999	1,271306	0,774457
CEW	0,535567	0,548983	-1,25325	18	0,226151	8	12	0,021418	0,024661	1,325706	0,730261
ABW	0,629254	0,736937	-5,12858	18	0,000070	8	12	0,033324	0,052499	2,481943	0,237155
TEW	0,358139	0,377748	-2,83395	18	0,011005	8	12	0,012322	0,016717	1,840496	0,428705
CEF	1,211114	1,175832	0,73022	18	0,474654	8	12	0,155328	0,054627	8,084987	0,002683
APL	0,241638	0,239086	0,16661	18	0,869537	8	12	0,042714	0,026121	2,674015	0,140611
APW	0,074726	0,087480	-2,34580	18	0,030642	8	12	0,008235	0,013749	2,787139	0,183823
Kut $\alpha$	1,599124	1,590451	0,38752	18	0,702912	8	12	0,037353	0,055197	2,183628	0,309229

**Prilog 8.** Rezultati t-testa za populaciju jezera Rakitje (2. dio jezera) - crveno su označeni podaci koji se razlikuju.

značajka	SV (m)	SV (f)	t	SS	p	v. N (m)	v. N (f)	SD (m)	SD (f)	F (omjer var.)	p var.
TL	2,888693	3,013447	-3,07754	46	0,003511	11	37	0,111058	0,119908	1,16573	0,842183
ROL	0,436825	0,439371	-0,20680	46	0,837081	11	37	0,034555	0,036200	1,09747	0,933034
HEL	0,507860	0,502853	1,07225	46	0,289203	11	37	0,013272	0,013686	1,06327	0,981564
ARL	0,492140	0,497147	-1,07225	46	0,289203	11	37	0,013272	0,013686	1,06327	0,981564
ABL	1,011602	1,102064	-3,83115	46	0,000385	11	37	0,075343	0,066812	1,27170	0,564839
TEL	0,434710	0,458839	-3,05195	46	0,003769	11	37	0,026092	0,022093	1,39487	0,443939
CLL	1,000390	1,030406	-0,49209	46	0,624994	11	37	0,354726	0,073199	23,48406	0,000000
CFL	0,603170	0,620537	-0,44516	46	0,658292	11	37	0,218225	0,057116	14,59785	0,000000
CPL	0,376370	0,382952	-0,28354	46	0,778037	11	37	0,130062	0,033737	14,86272	0,000000

CLH	0,199278	0,211813	-0,99101	46	0,326868	11	37	0,071811	0,017354	17,12286	0,000000
CLW	0,369778	0,401886	-1,47491	46	0,147050	11	37	0,125609	0,027422	20,98157	0,000000
CPH	0,653204	0,673494	-0,90990	46	0,367617	11	37	0,032864	0,071324	4,71001	0,012701
ABH	0,353964	0,388336	-2,97662	46	0,004635	11	37	0,038607	0,032104	1,44617	0,400607
HEW	0,432885	0,444915	-2,16717	46	0,035435	11	37	0,017267	0,015843	1,18787	0,661755
ROW	0,216738	0,244051	-2,94919	46	0,004994	11	37	0,016325	0,029244	3,20903	0,053686
CGW	0,566844	0,586995	-1,72556	46	0,091139	11	37	0,022751	0,036520	2,57665	0,112808
CPW	0,712521	0,737928	-2,00206	46	0,051195	11	37	0,035246	0,037415	1,12681	0,892994
ARW	0,169455	0,187976	-3,15476	46	0,002830	11	37	0,019996	0,016198	1,52384	0,342173
CEW	0,535079	0,557217	-2,08510	46	0,042638	11	37	0,036907	0,029034	1,61578	0,283100
ABW	0,609155	0,704075	-7,32440	46	0,000000	11	37	0,033322	0,038874	1,36095	0,625440
TEW	0,359309	0,381325	-3,46799	46	0,001149	11	37	0,012778	0,019781	2,39645	0,141968
CEF	1,139372	1,175806	-2,19594	46	0,033177	11	37	0,047427	0,048555	1,04813	1,000000
APL	0,263171	0,258970	0,38013	46	0,705599	11	37	0,030791	0,032562	1,11829	0,904478
APW	0,087449	0,086566	0,19033	46	0,849890	11	37	0,010233	0,014298	1,95238	0,259731
Kut $\alpha$	1,633920	1,599329	1,72620	46	0,091024	11	37	0,057209	0,058665	1,05155	0,998647

**Prilog 9.** Rezultati t-testa za populaciju Trećeg maksimirskog jezera - crveno su označeni podaci koji se razlikuju

značajka	SV (m)	SV (f)	t	SS	p	v. N (m)	v. N (f)	SD (m)	SD (f)	F (omjer var.)	p var.
TL	2,705328	2,721640	-0,17599	61	0,860885	30	33	0,094181	0,499284	28,10428	0,000000
ROL	0,387925	0,400926	-0,79985	61	0,426902	30	33	0,038190	0,081190	4,51976	0,000094
HEL	0,554427	0,553918	0,17647	61	0,860505	30	33	0,010212	0,012426	1,48057	0,288813
ARL	0,445573	0,446082	-0,17647	61	0,860505	30	33	0,010212	0,012426	1,48057	0,288813
ABL	0,987241	1,051849	-3,30463	61	0,001595	30	33	0,061566	0,089527	2,11458	0,044685
TEL	0,362911	0,374911	-2,47875	61	0,015966	30	33	0,017897	0,020292	1,28563	0,497122
CLL	0,822125	0,705241	1,65788	61	0,102476	30	33	0,321929	0,234458	1,88535	0,082696
CFL	0,437827	0,418740	0,41855	61	0,677017	30	33	0,214715	0,143218	2,24764	0,027349
CPL	0,297972	0,277352	0,83074	61	0,409358	30	33	0,118525	0,075658	2,45423	0,014691
CLH	0,172103	0,159559	0,87313	61	0,386018	30	33	0,067851	0,044840	2,28974	0,024076
CLW	0,320895	0,315530	0,20062	61	0,841666	30	33	0,124658	0,085659	2,11782	0,040593
CPH	0,653696	0,655930	-0,34131	61	0,734046	30	33	0,021609	0,029322	1,84130	0,100314
ABH	0,426083	0,452148	-2,55596	61	0,013097	30	33	0,045196	0,035551	1,61623	0,187446
HEW	0,415720	0,423166	-1,06569	61	0,290765	30	33	0,031299	0,023973	1,70451	0,143589
ROW	0,170826	0,175440	-1,03182	61	0,306231	30	33	0,011841	0,021723	3,36574	0,001416
CGW	0,537098	0,546485	-1,91487	61	0,060202	30	33	0,020269	0,018641	1,18229	0,642365
CPW	0,714454	0,716005	-0,11845	61	0,906102	30	33	0,057640	0,046162	1,55915	0,222323
ARW	0,154664	0,165763	-1,42531	61	0,159164	30	33	0,018277	0,038906	4,53116	0,000092
CEW	0,584629	0,608160	-2,77485	61	0,007320	30	33	0,035450	0,031863	1,23782	0,555158
ABW	0,611209	0,655436	-5,38870	61	0,000001	30	33	0,026940	0,036879	1,87389	0,091071
TEW	0,349740	0,370296	-4,00883	61	0,000169	30	33	0,017878	0,022315	1,55805	0,230972
CEF	1,103298	1,110678	-0,76249	61	0,448705	30	33	0,039514	0,037301	1,12217	0,747836

APL	0,167330	0,176714	-1,06585	61	0,290694	30	33	0,021687	0,043540	4,03067	0,000282
APW	0,083519	0,084143	-0,14025	61	0,888927	30	33	0,015027	0,019707	1,71990	0,143701
Kut $\alpha$	1,650679	1,661661	-0,32584	61	0,745664	30	33	0,153980	0,111981	1,89077	0,081334

**Prilog 10.** Analiza varijance za mužjake; mjerene morfometrijske značajke koje se značajno razlikuju označene su crvenom bojom ( $p < 0,05$ ).

Morfometrijske značajke	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
TL	0,419835	3	0,139945	1,715938	87	0,019723	7,09536	0,000255
ROL	0,033351	3	0,011117	0,152836	87	0,001757	6,32829	0,000622
HEL	0,025375	3	0,008458	0,037389	87	0,000430	19,68168	0,000000
ARL	0,025375	3	0,008458	0,037389	87	0,000430	19,68168	0,000000
ABL	0,290441	3	0,096814	1,889853	87	0,021722	4,45685	0,005831
TEL	0,051747	3	0,017249	0,535609	87	0,006156	2,80179	0,044602
CLL	2,201423	3	0,733808	5,820997	87	0,066908	10,96741	0,000004
CFL	1,483361	3	0,494454	2,774069	87	0,031886	15,50700	0,000000
CPL	0,136025	3	0,045342	0,739888	87	0,008504	5,33151	0,002028
CLH	0,166763	3	0,055588	0,614665	87	0,007065	7,86793	0,000105
CLW	0,102923	3	0,034308	1,591198	87	0,018290	1,87581	0,139603
CPH	0,014958	3	0,004986	0,066424	87	0,000763	6,53061	0,000491
ABH	0,112742	3	0,037581	0,112409	87	0,001292	29,08590	0,000000
HEW	0,003662	3	0,001221	0,061059	87	0,000702	1,73908	0,164927
ROW	0,072287	3	0,024096	0,095561	87	0,001098	21,93705	0,000000
CGW	0,045761	3	0,015254	0,060166	87	0,000692	22,05684	0,000000
CPW	0,013523	3	0,004508	0,174308	87	0,002004	2,24985	0,088196
ARW	0,004194	3	0,001398	0,038593	87	0,000444	3,15123	0,028956
CEW	0,063857	3	0,021286	0,148371	87	0,001705	12,48124	0,000001
ABW	0,004928	3	0,001643	0,268097	87	0,003082	0,53305	0,660827
TEW	0,013638	3	0,004546	0,030983	87	0,000356	12,76480	0,000001
CEF	0,101163	3	0,033721	0,334532	87	0,003845	8,76966	0,000038
APL	0,246162	3	0,082054	0,493907	87	0,005677	14,45350	0,000000
APW	0,054887	3	0,018296	0,059884	87	0,000688	26,58052	0,000000
Kut $\alpha$	0,128187	3	0,042729	0,985724	87	0,011330	3,77126	0,013486

**Prilog 11.** Analiza varijance za ženke; mjerene morfometrijske značajke koje se značajno razlikuju označene su crvenom bojom ( $p < 0,05$ ).

Morfometrijske značajke	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
TL	2,202068	3	0,734023	9,893208	119	0,083136	8,82916	0,000025
ROL	0,029381	3	0,009794	0,325334	119	0,002734	3,58235	0,015946
HEL	0,053295	3	0,017765	0,028126	119	0,000236	75,16263	0,000000
ARL	0,053295	3	0,017765	0,028126	119	0,000236	75,16263	0,000000
ABL	0,063992	3	0,021331	2,097552	119	0,017626	1,21016	0,309134
TEL	0,142469	3	0,047490	0,063702	119	0,000535	88,71429	0,000000
CLL	2,230591	3	0,743530	2,270149	119	0,019077	38,97547	0,000000
CFL	0,846244	3	0,282081	0,955689	119	0,008031	35,12407	0,000000
CPL	0,224587	3	0,074862	0,265410	119	0,002230	33,56551	0,000000
CLH	0,054626	3	0,018209	0,168523	119	0,001416	12,85768	0,000000
CLW	0,213519	3	0,071173	0,388107	119	0,003261	21,82285	0,000000
CPH	0,011598	3	0,003866	0,260029	119	0,002185	1,76929	0,156744
ABH	0,106530	3	0,035510	0,135334	119	0,001137	31,22423	0,000000
HEW	0,008505	3	0,002835	0,046987	119	0,000395	7,17998	0,000180
ROW	0,179824	3	0,059941	0,082149	119	0,000690	86,83071	0,000000
CGW	0,036322	3	0,012107	0,091951	119	0,000773	15,66905	0,000000
CPW	0,026618	3	0,008873	0,174060	119	0,001463	6,06607	0,000705
ARW	0,009853	3	0,003284	0,087208	119	0,000733	4,48161	0,005111
CEW	0,079600	3	0,026533	0,109686	119	0,000922	28,78651	0,000000
ABW	0,516034	3	0,172011	0,281563	119	0,002366	72,69890	0,000000
TEW	0,006036	3	0,002012	0,043590	119	0,000366	5,49316	0,001437
CEF	0,091722	3	0,030574	0,235420	119	0,001978	15,45461	0,000000
APL	0,125297	3	0,041766	0,283038	119	0,002378	17,55986	0,000000
APW	0,014938	3	0,004979	0,050396	119	0,000423	11,75740	0,000001
Kut $\alpha$	0,205927	3	0,068642	0,675602	119	0,005677	12,09062	0,000001

**Prilog 12.** Rezultati diskriminativne analize za mužjake

Morfometrijske značajke	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (3,71)	p-value	Toler.	1-Toler. (R-Sqr.)
ABH	0,016907	0,807837	5,62967	0,001611	0,575350	0,424651
ROW	0,024975	0,546873	19,60967	0,000000	0,239657	0,760343
APW	0,015082	0,905588	2,46738	0,069082	0,226992	0,773008
TEW	0,017513	0,779860	6,68066	0,000490	0,446306	0,553694
ROL	0,014302	0,954944	1,11665	0,348180	0,536603	0,463397
CLH	0,015929	0,857450	3,93455	0,011755	0,162744	0,837256
ARL	0,015273	0,894243	2,79891	0,046193	0,412831	0,587169
CLW	0,018952	0,720673	9,17301	0,000033	0,080518	0,919482

APL	0,016178	0,844242	4,36636	0,007034	0,134885	0,865115
CPH	0,017215	0,793362	6,16418	0,000875	0,481424	0,518576
CGW	0,014956	0,913198	2,24957	0,089989	0,457827	0,542173
CEW	0,014879	0,917942	2,11566	0,105852	0,443960	0,556040
TEL	0,018163	0,751980	7,80582	0,000142	0,105662	0,894338
CLL	0,014432	0,946343	1,34188	0,267693	0,095464	0,904536
CEF	0,014938	0,914299	2,21839	0,093458	0,605036	0,394964
ABL	0,014920	0,915403	2,18716	0,097065	0,423521	0,576479
CPL	0,014323	0,953545	1,15300	0,333840	0,090697	0,909303

### Prilog 13. Rezultati diskriminativne analize za ženke

Morfometrijske značajke	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (3,104)	p-value	Toler.	1-Toler. (R-Sqr.)
TEL	0,016015	0,803778	8,46302	0,000044	0,812784	0,187216
ABW	0,021007	0,612747	21,90916	0,000000	0,640487	0,359513
ROW	0,020519	0,627317	20,59511	0,000000	0,599985	0,400015
CLL	0,013172	0,977203	0,80875	0,491806	0,341387	0,658613
CEW	0,016316	0,788918	9,27539	0,000017	0,473672	0,526328
CLW	0,015299	0,841378	6,53559	0,000430	0,322937	0,677063
APL	0,014158	0,909200	3,46209	0,019024	0,313331	0,686669
CLH	0,016230	0,793123	9,04238	0,000022	0,343165	0,656835
ABH	0,015098	0,852559	5,99525	0,000827	0,668395	0,331605
ARL	0,015159	0,849172	6,15743	0,000679	0,621655	0,378345
TEW	0,013706	0,939154	2,24600	0,087333	0,546254	0,453746
APW	0,014146	0,909948	3,43076	0,019786	0,498247	0,501753
ARW	0,013372	0,962621	1,34612	0,263542	0,736779	0,263221
TL	0,014000	0,919457	3,03675	0,032443	0,264438	0,735562
ROL	0,013563	0,949047	1,86122	0,140755	0,294286	0,705714
CEF	0,013342	0,964787	1,26528	0,290228	0,451668	0,548332

## 9. ŽIVOTOPIS

### OSOBNİ PODACI:

Ime i prezime: Tamara Preininger

Datum i mjesto rođenja: 02. 11. 1992., Čakovec, Hrvatska

Adresa prebivališta: Ladislava Jageca 15, 40 000 Čakovec

Broj mobilnog telefona: 099/441-8266

E-mail adresa: [tampreininger@gmail.com](mailto:tampreininger@gmail.com)

[tpreininger@hotmail.com](mailto:tpreininger@hotmail.com)

### OBRAZOVANJE:

2015./2016. – 2017. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, Biološki odsjek, diplomski studij Ekologija i zaštita prirode, Modul kopnene vode

2011./2012. – 2015. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, Biološki odsjek, preddiplomski sveučilišni studij Biologija

2007./2008. – 2011. Gimnazija Čakovec (opća), Čakovec

1999./2000. – 2007. Druga osnovna škola Čakovec

### VJEŠTINE:

Poznavanje jezika: engleski (aktivan), njemački (pasivan)

Kompjuterski programi: korištenje svim Internet preglednicima, MS Office (Word, Excel, PowerPoint), GIS softver, Statistica

Vozačka dozvola: B kategorija